

---

*Vernon W. Ruttan  
y Yujiro Hayami (\*)*

---

*El cambio técnico inducido  
en la agricultura (\*\*)*

En el siglo pasado, casi todo el aumento en la producción de alimentos se consiguió cultivando nuevas tierras (salvo excepciones en zonas concretas de Asia oriental, en Oriente Medio y en Europa occidental). Al final de este siglo, casi todo el aumento de la producción mundial de alimentos habrá de proceder del aumento de los rendimientos. En la mayor parte del mundo, esta transición de un sistema de agricultura basado en los recursos a otro basado en la ciencia se está produciendo en un mismo siglo. En unos pocos países, tal proceso se inició en el siglo XIX; en la mayoría de los países desarrollados no comenzó hasta la primera mitad de este siglo. La mayoría de los países en desarrollo iniciaron esta transición a mediados de siglo.

Creemos útil para nuestra investigación clasificar la literatura tradicional sobre desarrollo agrario en cinco epígrafes: (a) explotación de los recursos, (b) conservación, (c) localización, (d) difusión, y (e) modelos de insumos de alto rendimiento (1).

Las limitaciones de estos últimos modelos nos han movido a desarrollar un modelo de desarrollo agrario en el que el cambio tecnológico se trata como un factor exógeno, que actúa indepen-

---

(\*) University of Minnesota y University of Tokio, respectivamente.

(\*\*) En este artículo se utiliza información tomada de Hayami y Ruttan (1985).

(1) Véase Hayami y Ruttan (1985), cap. 3.

dientemente de otros procesos de desarrollo. La perspectiva de la innovación inducida se ha visto estimulada por la demostración histórica de que diferentes países han seguido trayectorias alternativas de cambio tecnológico en el proceso de desarrollo agrario. En el modelo de innovación inducida, los niveles de productividad logrados por los agricultores en los países más avanzados pueden considerarse situados a lo largo de una frontera de productividad, que refleja el nivel de progreso técnico logrado en cada clase de recursos. Tales niveles no son inmediatamente asequibles a los países de productividad más baja, ya que sólo pueden conseguirse invirtiendo en la capacidad de investigación agraria necesaria para desarrollar tecnologías apropiadas a los entornos naturales e institucionales de cada país y en la infraestructura física e institucional necesaria para conseguir el potencial de nueva producción que permite el progreso tecnológico.

Hay claras pruebas históricas de que el desarrollo de la tecnología trata de facilitar la sustitución de factores de producción relativamente escasos (y, por tanto, caros) por otros relativamente abundantes (y, por tanto, baratos). Las restricciones impuestas al desarrollo agrario por una oferta inelástica de tierra han sido compensadas, en países como Japón y Taiwán, por el desarrollo de variedades vegetales de alto rendimiento destinadas a facilitar la sustitución de tierra por fertilizantes. Las restricciones impuestas por la oferta inelástica de trabajo en países como Estados Unidos, Canadá y Australia han sido compensadas por avances técnicos que han llevado a la sustitución de mano de obra por energía animal y mecánica. En algunos casos, la nueva tecnología —incorporada a nuevas variedades vegetales, nueva maquinaria o nuevas prácticas de producción— quizá no pueda sustituir por sí sola a la tierra o al trabajo. Es más bien un catalizador que facilita la sustitución de factores relativamente escasos por otros relativamente abundantes (como los fertilizantes o los combustibles minerales).

Los aumentos de producción por unidad de superficie cultivable han estado estrechamente ligados a los avances en la

---

---

tecnología biológica; los aumentos de producción por trabajador y los progresos de la tecnología mecánica también han guardado estrecha relación entre sí. Estas diferencias históricas han dado lugar a diferencias transversales en la productividad y en el uso de los factores. Los progresos en la tecnología biológica pueden dar lugar a aumentos de la producción por trabajador, así como a aumentos de la producción por unidad de superficie, siempre que la tasa de crecimiento de la producción por hectárea supere la tasa de crecimiento de la población activa agraria. En Filipinas, por ejemplo, el crecimiento de la producción por trabajador antes de mediados del decenio de 1950 mantuvo una estrecha relación con la expansión de la superficie cultivada por trabajador. Desde los primeros años del decenio de 1960, el crecimiento de la producción por trabajador ha estado más estrechamente ligado a aumentos de la producción por unidad de tierra cultivada.

## **LA INNOVACION INDUCIDA EN LA TEORIA DE LA EMPRESA**

La teoría de la innovación inducida se ha desarrollado sobre todo en el marco de la teoría de la empresa. Dos escuelas han tratado de incorporar el comportamiento innovador de las empresas maximizadoras de los beneficios a la teoría económica. Una es la que sigue la tradición de Hicks, que centra la atención en el sesgo de ahorro de factores inducido por las variaciones de los precios relativos de los factores debidas a cambios en la escasez relativa de los recursos (Hicks, 1932) (2). La otra es la de Schmookler-Griliches, que centra la atención en la influencia del

---

(2) El interés de los economistas por esta cuestión, iniciado por Hicks, se retrasó hasta el decenio de 1960. Dos artículos de Fellner (1961, 1962) fueron particularmente importantes en la orientación de la atención hacia la cuestión del cambio técnico inducido. A ellos siguió un amplio debate sobre los fundamentos teóricos y sobre las consecuencias macroeconómicas del cambio técnico inducido, comenzando por Kennedy (1964) y continuando por Samuelson (1965, 1966), Kennedy (1966, 1967), Ahmad (1966, 1967a, 1967b) y Fellner (1967). Sobre otras aportaciones, véanse Drandakis y Phelps (1966), Conlisk (1969) y van de Klundert y de Groof (1977). Pueden encontrarse recensiones de esta y otra literatura relacionada con el tema en Wan (1971), Nordhaus (1973) y Binswanger (1978a). Ofrecen una visión general Thirtle y Ruttan (1987).

---

---

crecimiento de la demanda del producto en la tasa de cambio técnico (Griliches, 1957; Schmookler, 1962, 1966) (3).

Una teoría completa del equilibrio general de la innovación inducida capaz de explicar el proceso dinámico de desarrollo agrario debiera incorporar mecanismos mediante los cuales los cambios de la demanda del producto y de la dotación de factores se conjuguen para influir en la tasa y sentido del cambio tecnológico.

La teoría de Hicks de la innovación inducida supone que un aumento del precio de uno de los factores en relación a los precios de los demás factores induce una sucesión de cambios técnicos que reduce el uso de dicho factor en comparación con el uso de los restantes. A consecuencia de ello, las restricciones impuestas al crecimiento económico por la escasez de recursos son suavizadas por el progreso tecnológico, que facilita la sustitución de factores relativamente escasos por otros relativamente abundantes.

La teoría de Hicks fue criticada por W. E. G. Salter (1960) y otros por su falta de fundamento microeconómico basándose en el comportamiento optimizador de la empresa innovadora (4). Salter definió la función de producción de manera que abarcara todos los diseños imaginables, dados los actuales conocimientos científicos más recientes, y se refirió a la elección entre esos diseños con el término «sustitución de factores», en lugar de «cambio técnico». Sin embargo, admitía que «los precios relativos de los factores tienen el carácter de postes indicadores que representan influencias generales que determinan la forma en que se aplica a la producción el conocimiento tecnológico».

Aunque no negamos lo correcto de la definición de Salter, evidentemente no es muy útil para comprender el proceso en

---

(3) Mowery y Rosenberg (1979) han afirmado que en varios estudios recientes «la idea de que las fuerzas de la demanda del mercado “rigen” el proceso de innovación no queda sencillamente demostrada con los análisis empíricos que afirman servir de base a esa conclusión» (pág. 104). Scherer (1982), utilizando una base de datos más completa, concluye que «la relación entre fuerzas de la demanda y flujo de innovaciones era mucho más débil, aunque todavía significativa».

(4) Véanse también Griliches (1957), Schmookler (1962, 1966), Mowery y Rosenberg (1979) y Scherer (1982).

---

virtud del cual se dispone de nuevas alternativas técnicas. Consideramos cambio técnico como todo cambio de los coeficientes de producción resultante de una actividad deliberada de uso de recursos encaminada al desarrollo de nuevos conocimientos incorporados a diseños, materiales u organizaciones. Según esta definición, es totalmente razonable que las empresas competitivas asignen fondos al desarrollo de una tecnología que facilite la sustitución de factores cada vez más caros por otros más baratos. Ahmad (1966) demostró sin lugar a dudas que, si un factor se convierte en más caro en comparación con otro a lo largo del tiempo, los esfuerzos innovadores de los empresarios se orientarán al ahorro del factor que se ha encarecido, siempre que los empresarios ideen nuevas posibilidades técnicas alternativas que puedan desarrollarse con la misma magnitud de costes de investigación (5). Análogamente, en un país en el que la relación de costes de los factores sea más alta que en un segundo país, los esfuerzos de innovación se orientarán al ahorro de los factores relativamente más caros.

Más recientemente, Binswanger (1974a, 1978b) desarrolló un modelo de innovación inducida que incorpora una función de producción de investigación. Suponiendo decreciente la productividad marginal de los recursos aplicados a investigación y desarrollo, construyó un modelo de sesgo inducido de ahorro de factores en el cambio técnico, basado en el comportamiento maximizador de los beneficios de la empresa, sin recurrir al supuesto restrictivo de un presupuesto fijo de investigación (6). Asimismo, incorporó al modelo el efecto de la demanda del producto en la asignación de recursos de investigación. En su modelo, el crecimiento de la demanda del producto incrementa el valor del producto marginal de los recursos dedicados a investigación, elevando así el nivel óptimo de gasto en investigación para la empresa maximizadora de los beneficios. Un presupuesto

---

(5) Véanse también Fellner (1967), Ahmad (1967a, b) y Kennedy (1967).

(6) Dos supuestos particularmente incómodos de la teoría del crecimiento de Kennedy dentro de su teoría de la innovación inducida fueron el de: (a) un presupuesto dado exógenamente de investigación y desarrollo y (b) un intercambio estable «fundamental» o función de transformación (IPF).

---

---

mayor de investigación conduce a un desplazamiento hacia el origen de la curva de posibilidades de innovación (CPI), definida como la envolvente de isocuantas unitarias correspondientes a las tecnologías alternativas que potencialmente pueden desarrollarse con un presupuesto dado de investigación en una situación dada de la técnica. En el modelo de Binswanger, el cambio técnico es guiado a lo largo de CPI por cambios de los precios relativos de los factores, mientras que la misma CPI es inducida a desplazarse hacia dentro y hacia el origen por el crecimiento de la demanda del producto. De esta manera logra encajar en un solo modelo de cambio técnico inducido tanto el enfoque de Hicks, que centra la atención en el efecto de los precios relativos de los factores sobre el sesgo de ahorro de los mismos, como el de Schmookler-Griliches, que centra la atención en el efecto de la demanda del producto sobre la tasa de cambio tecnológico.

En la teoría de la innovación inducida no se presume que el cambio técnico tenga carácter totalmente inducido. Hay una dimensión de oferta (exógena) en el proceso, así como una dimensión de demanda (endógena). Además de los efectos de la dotación de recursos y del crecimiento de la demanda, el cambio técnico refleja el progreso de la ciencia y de la tecnología en general. El progreso de la ciencia en general (o innovación científica) que reduce el coste de las innovaciones técnicas y de gestión puede influir en el cambio técnico con independencia de los cambios de las proporciones de los factores y de la demanda del producto (Nelson, 1959; Schmookler, 1966). Aun en estos casos, la tasa de adopción y la repercusión sobre la productividad de cambios autónomos o exógenos de la tecnología serán fuertemente influidas por las condiciones de la oferta de recursos y de la demanda del producto, ya que esas fuerzas actúan a través de los mercados de los factores y del producto.

En la figura 1 se representa un modelo de innovación técnica inducida. Este modelo incorpora tanto las características de la sustitución de factores como la complementariedad asociada con los avances en la tecnología biológica y mecánica.

El proceso de avance de la tecnología mecánica se representa en la parte izquierda de la figura 1.  $I_0^*$  representa la curva de

---

---

posibilidades de innovación (CPI) en el momento cero; es la envolvente de isocuantas unitarias menos elásticas correspondientes, por ejemplo, a diferentes tipos de cosechadoras. Una tecnología cualquiera, por ejemplo, una segadora, representada por  $I_0$ , se inventa cuando prevalece la razón de precios BB durante cierto tiempo.

Correlativamente, el punto de equilibrio de coste mínimo queda determinado en P, con cierta combinación óptimo de tierra, trabajo y energía no humana para el manejo de la segadora. En general, la tecnología que permite el cultivo de una superficie mayor por trabajador exige más energía animal o mecánica por trabajador. Esto presupone una relación de complementariedad entre tierra y energía, que puede expresarse mediante una línea que represente una combinación dada de tierra y energía [A,M]. En esta presentación simplificada, se supone que el trabajo es sustituido por tierra-con-energía en respuesta a un cambio del salario en relación con un índice de precios de la tierra y de la energía, aunque, por supuesto, en la práctica actual la tierra y la energía son sustituibles en cierta medida.

$I_1^*$  representa la CPI del período 1. Supongamos, por ejemplo, que del período 0 al 1 el trabajo resulta más escaso, en comparación con la tierra, a causa de la transferencia de trabajo a la industria en el curso del desarrollo económico, dando lugar al descenso de la renta agraria en relación con los salarios. Supongamos asimismo que desciende el precio de la energía en comparación con el salario a consecuencia de la oferta, por la industria, de una fuente más barata de energía. Esa variación de la razón de precios de BB a CC induce la invención de otra tecnología, como la cosechadora, representada por  $I_1$ , que permite a un trabajador agrícola cultivar una superficie mayor utilizando mayor cantidad de energía.

El proceso de avance en el campo de la tecnología biológica se representa en la parte derecha de la figura 1. En este caso,  $i_0^*$  representa una CPI que abarca isocuantas menos elásticas de tierra-fertilizantes, como  $i_0$ , correspondientes a diferentes variedades vegetales y prácticas de cultivo. Cuando la razón de

---

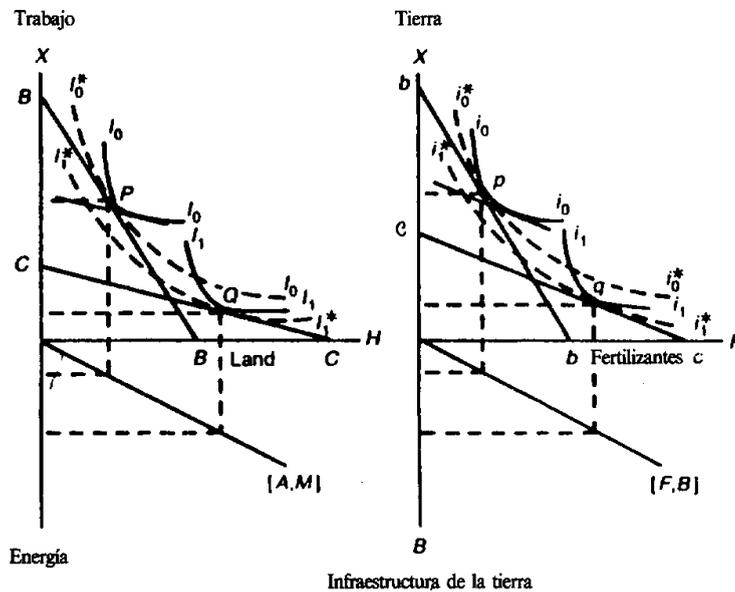


Fig. 1.—Modelo de cambio tecnológico inducido en agricultura.  
Fuente: Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985).

precios fertilizantes-tierra descende de  $bb$  a  $cc$  al pasar del período 0 al período 1, se desarrolla a lo largo de  $i_1^*$ , CPI del período 1, una nueva tecnología más sensible a la tecnología, representada por  $i_1$ . En general, la tecnología que facilita la sustitución de tierra por fertilizantes, como variedades vegetales sensibles a los fertilizantes y de alto rendimiento, exige un mejor control del agua y una mejor gestión de la tierra. Esto apunta a una relación de complementariedad entre los fertilizantes y la tierra en forma de sistemas de riego y drenaje, tal como se refleja en la relación lineal  $[F,B]$  (7).

(7) En el modelo de innovación inducida de la figura 2, hemos tratado, por razones pedagógicas, la repercusión de los progresos en la tecnología mecánica y biológica en las relaciones de factores como si fueran completamente separables, aunque están interrelacionados. Además, algunas innovaciones biológicas ahorran trabajo y algunas innovaciones mecánicas ahorran tierra. Además, no negamos la posibilidad de un sesgo autónomo o inherente al cambio técnico sin relación con las variaciones de los precios de los factores. Si, por ejemplo, la tasa de progreso en la tecnología mecánica supera la tasa de progreso en la tecnología biológica, a causa del sesgo autónomo del potencial

---

Sería equivocado pensar que la innovación inducida procede en forma de ajuste suavizado a lo largo de la CPI en respuesta a variaciones de los precios relativos de los factores. En el proceso dinámico de desarrollo, la aparición de desequilibrio constituye un elemento crítico de inducción del cambio técnico y del crecimiento económico. El desequilibrio entre los distintos elementos del sistema crea estrangulamientos que hacen que la atención de los científicos, inventores, empresarios y administradores públicos se centre en la solución de determinados problemas para conseguir una asignación más eficiente de los recursos (8).

Requisito del crecimiento de la productividad agraria es la capacidad del sector agrario para responder a los cambios de los precios de los factores y del producto. Esta adaptación implica, no sólo un movimiento a lo largo de una superficie fija de producción, sino también estímulos derivados de la innovación que conducen a un desplazamiento de la superficie de producción. Por ejemplo, aunque el precio de los fertilizantes descienda en relación con los precios de la tierra y de los productos agrarios, pueden ser limitados los aumentos del uso de los mismos, mientras no se desarrollen nuevas variedades vegetales más sensibles que las tradicionales a altos niveles de insumos biológicos y químicos.

A efectos ilustrativos, la relación entre uso de fertilizantes y rendimiento puede representarse, como se hace en la figura 2, haciendo que  $u_0$  y  $u_1$  representen las curvas de respuesta a los fertilizantes de variedades autóctonas y mejoradas, respectivamente. Para los agricultores que se enfrentan con  $u_0$ , un descenso del precio de los fertilizantes en relación con el precio del producto, de

---

tecnológico, se puede forzar un aumento de la relación tierra-trabajo, aunque no cambie la relación de precios tierra-trabajo. Véase, por ejemplo, Thirtle (1982, 1984).

(8) Rosenberg (1969) ha propuesto una teoría del cambio técnico inducido basada en la «necesidad obvia e imperiosa» de superar las restricciones al crecimiento, en lugar de la escasez relativa de factores o los precios relativos de los factores. El modelo de Rosenberg es congruente con el modelo propuesto aquí, ya que su «necesidad obvia e imperiosa» se refleja en el mercado a través de los precios relativos de los factores. Timmer ha señalado (en carta de 9 de octubre de 1970) que desde el punto de vista de la programación lineal las restricciones que dan lugar a la «necesidad obvia e imperiosa» de innovación técnica en el modelo de Rosenberg representan el duplicado de los precios de los factores utilizados en nuestro modelo. Puede encontrarse mayor información sobre las relaciones entre el enfoque de Rosenberg y el esbozado en esta sección en Hayami y Ruttan (1973).

---

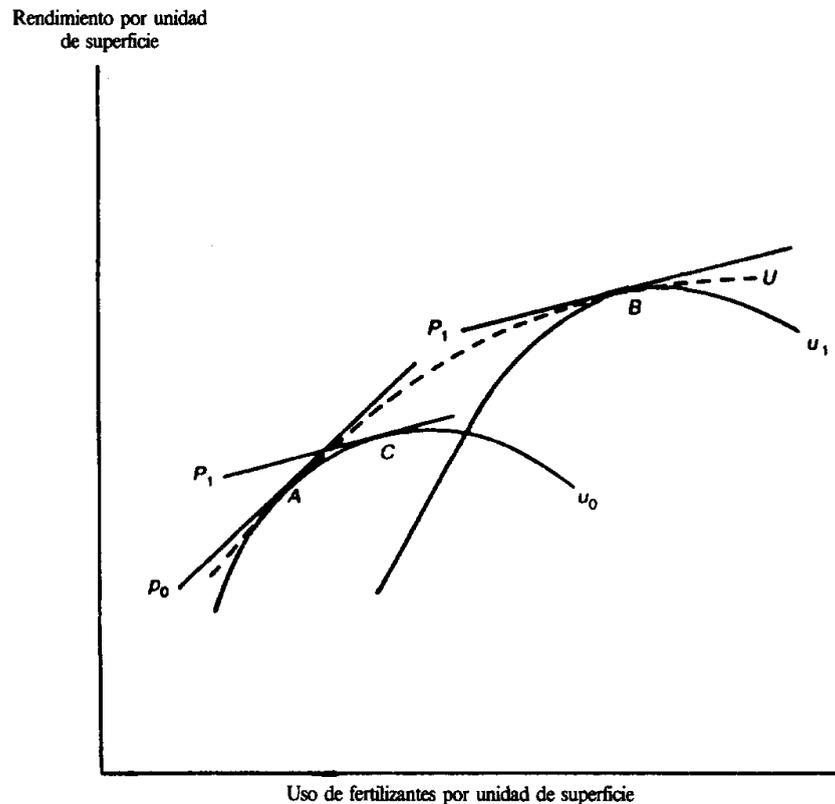


Fig. 2.—Desplazamiento de la curva de respuesta a los fertilizantes a lo largo de la curva de metarrespuesta.

Fuente: Y. Hayami y Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985).

$p_0$  a  $p_1$ , no es de esperar que dé lugar a un gran aumento de la aplicación de fertilizantes o del rendimiento. El efecto pleno de un descenso del precio de los fertilizantes en el uso de los mismos y en el producto sólo puede lograrse si los agricultores pueden disponer de  $u_1$  mediante el desarrollo de variedades más sensibles.

Teóricamente, es posible dibujar una curva, como U en la figura 2, que sea la envolvente de muchas curvas individuales de respuesta, cada una de las cuales represente una variedad de arroz caracterizada por un grado diferente de sensibilidad a los fertilizantes. Identificaremos esa curva con el nombre de *función*

---

*de metaproducción* o de *función de producción potencial*. La función de metaproducción puede considerarse la envolvente de las conocidas funciones neoclásicas de producción. A corto plazo, cuando la sustitución entre factores queda restringida por la rigidez del capital y del equipo disponibles, las relaciones de producción se describen óptimamente mediante una actividad con relaciones relativamente fijas factor-factor y factor-producto. A largo plazo, cuando desaparecen las restricciones causadas por el capital disponible y son sustituidas por el fondo de conocimientos técnicos disponibles, incluidas todas las combinaciones alternativas viables factor-factor y factor-producto, las relaciones de producción pueden describirse adecuadamente mediante la función neoclásica de producción. En un período secular de producción, cuando las restricciones causadas por el fondo disponible de conocimientos técnicos se abandonan para admitir todas las posibilidades potencialmente inventables, las relaciones de producción pueden describirse mediante una función de metaproducción que refleje todas las alternativas imaginables que pueden ser descubiertas (9).

La baja eficiencia en la producción agrícola en los países en desarrollo se representa en el punto C de la figura 2. Este equilibrio subóptimo es resultado del retraso en el desarrollo y adopción de la variedad ( $u_1$ ), sensible a los fertilizantes, en respuesta al descenso del precio relativo de los fertilizantes de  $p_0$  a  $p_1$ . En este ejemplo hemos utilizado el desarrollo de variedades de arroz sensibles a los fertilizantes como instrumento pedagógico para ilustrar cómo las variaciones de los precios de los factores inducen el desarrollo de nuevas funciones de producción a corto plazo a lo largo de la función de metaproducción a largo plazo. Nuestra hipótesis más general es que la eficiencia relativamente baja de la producción en la agricultura de los países en desarrollo se explica principalmente por la capacidad limitada de los sistemas de investigación agraria

---

(9) Véase en Brown (1966) una exposición de los procesos de producción a corto plazo, a largo plazo y seculares. La relación entre  $U$  y las  $u_i$  de la figura 2 es análoga a la envolvente entre empresas de una serie de funciones intraempresas de producción (véase Bronfenbrenner, 1944). Puede encontrarse una perspectiva alternativa, que considera el cambio técnico como un proceso de ensanchamiento de la elasticidad de sustitución entre factores más bien que en términos de una sucesión de funciones de respuesta, en Färe y Jansson (1974). En Grabowski y Sivan (1983) se ofrece una aplicación empírica.

---

---

de esos países para desarrollar nueva tecnología en respuesta a variaciones de los precios relativos de los factores.

No pensamos que la función de metaproducción tenga una sola forma o que sea completamente invariable a lo largo del tiempo. Se desplaza en respuesta a la acumulación de conocimientos científicos generales. En cambio, pensamos que operativamente es viable suponer un grado razonable de estabilidad en una «época» técnica, período suficiente para muchos análisis empíricos. Los desplazamientos de la función de metaproducción son mucho más lentos que los ajustes a lo largo de la superficie, o a la superficie desde abajo, de la función de metaproducción, especialmente en los países en desarrollo.

### **CRECIMIENTO DE LA PRODUCCION Y DE LA PRODUCTIVIDAD**

Japón y Estados Unidos se caracterizan por diferencias extremas en su dotación relativa de tierra y trabajo. En 1880, la superficie total de tierra agrícola por trabajador varón en Estados Unidos era más de sesenta veces la de Japón; la superficie cultivable por trabajador en Estados Unidos era veinte veces la de Japón. Las diferencias se han agrandado con el tiempo. En 1980, la superficie total de tierra agrícola por varón trabajador era más de cien veces, y la cultivable unas cincuenta veces, mayor en Estados Unidos que en Japón.

Los precios relativos de la tierra y del trabajo también diferían fuertemente en los dos países. En 1880, para comprar una hectárea de tierra cultivable, un trabajador japonés contratado habría tenido que trabajar ocho por cada día de otro norteamericano. En Estados Unidos, el coste del trabajo se elevó en comparación con el de la tierra, particularmente entre 1880 y 1920. En Japón, el precio de la tierra se elevó fuertemente en comparación con el del trabajo, en particular entre 1880 y 1900. En 1960, un trabajador agrícola japonés habría tenido que trabajar veinte veces más días que otro norteamericano para comprar una hectárea de tierra cultivable. Ese desfase se redujo después de 1960, en parte a causa

---

---

del rapidísimo aumento de los salarios en Japón durante los dos decenios de «rápido» crecimiento económico. En Estados Unidos, los precios de la tierra aumentaron fuertemente en el período de la posguerra, primordialmente por la expansión de la demanda de tierra para uso no agrícola y por la previsión de tensiones inflacionistas. No obstante, en 1980 un trabajador agrícola japonés todavía habría tenido que trabajar once veces más en días que otro norteamericano para comprar una hectárea de tierra.

A pesar de estas diferencias sustanciales de tierra por trabajador y de los precios relativos de la tierra y del trabajo, tanto Estados Unidos como Japón experimentaron tasas relativamente rápidas de crecimiento de la producción y de la productividad en la agricultura (cuadro 1). Los resultados en cuanto al crecimiento agrario durante todo el período de 100 años fueron semejantes en los dos países. En ambos, el producto agrario total creció a una tasa anual compuesta del 1,6 por ciento, y el total de insumos (insumos convencionales agregados) aumentó a una tasa del 0,7 por ciento. La productividad total de los insumos (producción total dividida por el total de insumos) aumentó a una tasa anual del 0,9 por ciento en ambos países. Mientras tanto, la productividad del trabajo, medida por la producción agraria por trabajador varón, aumentó a una tasa del 3,1 por ciento anual en Estados Unidos y del 2,7 por ciento en Japón. Es notable que las tasas globales de crecimiento de la producción y de la productividad fueran tan semejante, a pesar de la enorme diferencia en las proporciones de los factores que caracteriza a los dos países.

Aun siendo semejantes las tasas globales de crecimiento de la producción y de la productividad, las sucesiones temporales de las fases crecientes a una velocidad relativamente alta y de las fases relativamente estancadas difieren para los dos países. En Estados Unidos, la producción agraria creció rápidamente hasta 1900, para después desacelerarse la tasa de crecimiento. Del decenio de 1900 al de 1930 apenas mejoró la productividad total. Esa fase de estancamiento fue seguida por un aumento espectacular de la producción y de la productividad en los decenios de 1940 y 1950. Japón experimentó rápidos aumentos en ambos conceptos desde 1880 hasta el decenio de 1910, entrando a continuación en una

---

fase de estancamiento que duró hasta mediados del decenio de 1930. Se inició otra fase de rápida expansión durante el período de recuperación a raíz de la devastación de la segunda Guerra Mundial. En términos generales, Estados Unidos experimentó una fase de estancamiento dos decenios antes que Japón, y también pasó a la segunda fase de expansión dos decenios antes.

En el curso del desarrollo agrario norteamericano y japonés, ha habido diferencias sustanciales de crecimiento de la productividad del trabajo en los dos países. En Estados Unidos, la superficie agrícola por trabajador (A/L) aumentó mucho más rápidamente que en Japón. En este país la productividad de la tierra (Y/A) aumentó más rápido que en Estados Unidos. Para el período 1880-1980, el aumento de la superficie de tierra por trabajador explica alrededor del 70 por ciento del crecimiento de la productividad del trabajo en Estados Unidos, mientras que explica menos del 40 por ciento de la de Japón.

Tanto Estados Unidos como Japón experimentaron fases sucesivas de rápido crecimiento y de estancamiento relativo, seguidas por un rápido crecimiento de la productividad del trabajo. En Estados Unidos, la fase de estancamiento estuvo asociada con una reducción de la tasa de crecimiento de la superficie agrícola por trabajador (A/L). En la agricultura japonesa han estado evidentemente las variaciones de la productividad de la tierra (Y/A) más ligadas a la sucesión de fases de desarrollo y estancamiento antes de la Segunda Guerra Mundial. Aumentos rápidos de la productividad del trabajo (Y/L), en Estados Unidos y Japón después de la Segunda Guerra Mundial, estuvieron asociados con aumentos tanto de la superficie por trabajador (A/L) como de la productividad de la tierra (Y/A). Esta semejanza indica que las pautas norteamericana y japonesa de crecimiento agrario comenzaron a converger en el período de la posguerra, al aumentar en Japón la escasez de trabajo en relación con la tierra y en Estados Unidos la escasez de tierra en comparación con el trabajo.

En Estados Unidos, fue primordialmente el progreso de la mecanización lo que facilitó la expansión de la producción y de la

---

---

productividad de la agricultura, al aumentar la superficie por trabajador. En Japón fue el progreso de la tecnología biológica, representado por las mejoras de las semillas, lo que incrementó la respuesta del rendimiento a niveles superiores de aplicación de fertilizantes, lo cual permitió un rápido crecimiento de la producción agraria, a pesar de severas restricciones a la oferta de tierra. La agricultura norteamericana ha experimentado innovaciones biológicas significativas desde el decenio de 1930, y la mecanización agrícola ha progresado a ritmo creciente desde el decenio de 1950. En Japón, la agricultura ha hecho un enorme progreso en mecanización, respondiendo a fuertes aumentos de los salarios inducidos por la rápida transferencia de trabajo a los sectores industrial y de servicios.

La diferencia de pautas de crecimiento de la productividad y de uso de los factores en Estados Unidos y en Japón se comprende mejor en términos de un proceso de ajuste dinámico (en el sentido de que las isocuantas de producción cambian en respuesta a las variaciones de los precios relativos de los factores) a los cambios de los precios relativos de los factores a lo largo de una función de metaproducción.

Era de esperar que en Estados Unidos el descenso a largo plazo de los precios de la tierra y de la maquinaria en comparación con los salarios antes de 1960, estimulara la sustitución de trabajo por tierra y energía. Esa sustitución supuso generalmente la aplicación de tecnología mecánica a la producción agraria. Los fuertes aumentos en Estados Unidos de la superficie y de la energía por trabajador indican una respuesta a las innovaciones mecánicas que elevó la tasa marginal de sustitución de trabajo por tierra y energía (10). El proceso ha sido continuo. La introducción del tractor elevó notablemente la relación marginal de sustitución de trabajo por energía, al ser mucho más fácil disponer de más

---

(10) Esto es congruente con la importancia atribuida al efecto de las innovaciones mecánicas en la sustitución entre nueva y vieja maquinaria en términos de las variaciones de los precios relativos, tal como la analiza David (1966). De hecho, el descenso del precio de las nuevas máquinas (en relación con las viejas) en términos de eficiencia representa una medida de la aportación de la industria de maquinaria agrícola al cambio técnico en agricultura.

---

## CUADRO 1

Tasas anuales compuestas de crecimiento de la producción, insumos, productividad y proporciones de factores en la agricultura norteamericana y japonesa, 1880-1980, períodos seleccionados (Porcentaje)

|  | Subperíodos   |               |               |               |               | Todo el período<br>1880-1980 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|
|  | 1880-<br>1900 | 1900-<br>1920 | 1920-<br>1940 | 1940-<br>1960 | 1960-<br>1980 |                              |
| <b>Estados Unidos</b>                                  |               |               |               |               |               |                              |
| Producción (sin semillas ni piensos)                   | 2,2           | 0,8           | 1,3           | 1,9           | 1,9           | 1,6                          |
| Total de insumos                                       | 1,6           | 1,4           | 0,2           | 0,1           | 0,3           | 0,7                          |
| Productividad total (producto/total de insumos)        | 0,6           | -0,7          | 1,1           | 1,9           | 1,6           | 0,9                          |
| Número de trabajadores varones                         | 1,1           | 0,2           | -0,9          | -3,7          | -3,8          | -1,5                         |
| Producción por trabajador varón                        | 1,1           | 0,6           | 2,2           | 5,9           | 6,1           | 3,1                          |
| Superficie de tierra agrícola                          | 1,8           | -0,1          | -0,4          | 0,2           | -0,2          | 0,3                          |
| Superficie de tierra cultivable                        | 2,7           | 1,1           | -0,1          | -0,1          | 0,1           | 0,7                          |
| Producción por hectárea de tierra agrícola             | 0,4           | 0,8           | 1,7           | 1,7           | 2,1           | 1,3                          |
| Producción por hectárea de tierra arable               | -0,4          | -0,3          | 1,4           | 2,0           | 1,8           | 0,9                          |
| Superficie agrícola por trabajador varón               | 0,7           | -0,3          | 0,5           | 4,1           | 3,9           | 1,8                          |
| Superficie cultivable por trabajador varón             | 1,5           | 0,9           | 0,8           | 3,8           | 4,2           | 2,2                          |
| <b>Japón</b>   |               |               |               |               |               |                              |
| Producción (sin semillas ni piensos)                   | 1,6           | 2,0           | 0,7           | 1,8           | 1,9           | 1,6                          |
| Total de insumos                                       | 0,4           | 0,5           | 0,3           | 1,6           | 1,0           | 0,7                          |
| Productividad total                                    | 1,2           | 1,5           | 0,4           | 0,2           | 0,9           | 0,9                          |
| Número de trabajadores varones                         | 0,1           | -0,6          | -0,9          | -0,1          | -4,2          | -1,1                         |
| Producción por trabajador varón                        | 1,5           | 2,6           | 1,6           | 1,9           | 6,3           | 2,7                          |
| Superficie de tierra cultivable (=superficie agrícola) | 0,4           | 0,7           | 0,1           | -0,04         | -0,5          | 0,1                          |
| Producción por hectárea de tierra arable               | 1,2           | 1,3           | 0,6           | 1,8           | 2,4           | 1,5                          |
| Superficie de tierra cultivable por trabajador varón   | 0,4           | 1,3           | 1,0           | 0,1           | 3,8           | 1,2                          |

Fuente: Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), cuadros C-2 y C-3.

---

energía por trabajador. La sustitución de tractores pequeños por grandes tuvo un efecto semejante.

En Japón, la oferta de tierra era inelástica, y su precio se elevó en comparación con los salarios. No era, pues, rentable sustituir trabajo por tierra y energía. En cambio, las nuevas oportunidades derivadas de la disminución continuada del precio de los fertilizantes en comparación con el de la tierra fueron explotadas mediante los progresos en la tecnología biológica. La mejora de las semillas se orientó a la selección de variedades más sensibles a los fertilizantes. Las variedades tradicionales tenían rendimientos iguales o mayores que las variedades mejoradas a un nivel menor de abonado, pero no respondían a aplicaciones mayores de fertilizantes. Representando la tecnología biológica fija por una variedad dada de semilla, fue baja la elasticidad de sustitución de tierra por fertilizantes.

En Japón, a causa de la tendencia secularmente creciente de los salarios y de las fuertes bajas de los precios de los fertilizantes en comparación con los precios de la tierra, los agricultores y los trabajadores de las explotaciones experimentales se sintieron fuertemente impulsados a desarrollar innovaciones biológicas, como las variedades vegetales sensibles a los fertilizantes y con alto rendimiento. Es significativo que en Estados Unidos las innovaciones biológicas representadas por el maíz híbrido comenzaran unos diez años después de que se desacelerara la tasa de incremento de la tierra cultivable por trabajador (hacia 1920), y que las innovaciones biológicas y la aplicación de fertilizantes se aceleraran después de que el Gobierno impusiera restricciones a la superficie cultivable. Parece ser que los cambios de las condiciones de la oferta de tierra, junto con un fuerte descenso de los precios de los fertilizantes, indujeron una tasa más rápida de innovación biológica en Estados Unidos después del decenio de 1930. Pudo suceder que, cuando el aumento del uso de fertilizantes por hectárea resultante del descenso relativo de los precios agotó la fertilidad natural del suelo, la demanda de innovaciones biológicas se convirtiera en una necesidad urgente que, junto con el cambio de la oferta de tierra cultivable, indujo las intensas ventajas de la tecnología biológica en Estados Unidos desde el decenio de 1930.

---



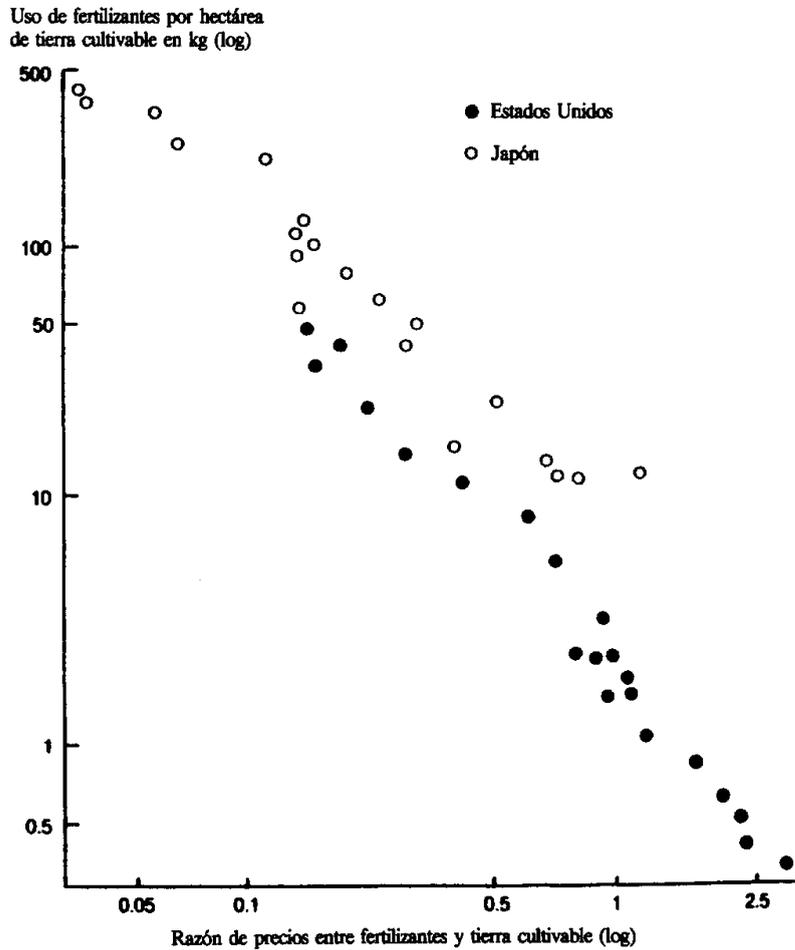


Fig. 4.—Relación entre uso de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable y razón de precios entre fertilizantes y tierra cultivable, Estados Unidos y Japón, observaciones quinquenales para 1880-1980.

de tierra cultivable y la razón de precios fertilizantes-tierra y entre uso de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable y la razón de precios fertilizantes-tierra. A pesar de las enormes diferencias de clima y otras condiciones ambientales, la relación entre esas variables es casi idéntica en ambos países.

---

## SUSTITUCION DE FACTORES A LO LARGO DE LA FUNCION DE METAPRODUCCION

La hipótesis desarrollada en la sección anterior puede resumirse como sigue: para comprender el crecimiento agrario en Estados Unidos y en Japón durante el período 1880-1980, lo mejor es considerarlo como un proceso dinámico de sustitución de factores. Los factores se han sustituido entre sí a lo largo de una función de metaproducción en respuesta a tendencias a largo plazo de sus precios relativos. Cada punto de la superficie de metaproducción se caracteriza por una tecnología, que puede describirse en términos de fuentes específicas de energía, tipos de maquinaria, variedades vegetales y razas de animales. Los movimientos a lo largo de esa superficie de metaproducción implican cambios técnicos. Estos han sido inducidos en gran medida por las tendencias a largo plazo de los precios relativos de los factores.

Para contrastar esta hipótesis, hemos tratado de determinar el alcance con que las variaciones de las proporciones de los factores, medidas por los coeficientes tierra-trabajo, energía-trabajo y fertilizantes-tierra, pueden explicarse por variaciones de las relaciones de los precios de los factores. En una situación caracterizada por una tecnología fija, parece razonable suponer que las elasticidades de sustitución entre factores son pequeñas. Esto nos permite inferir que fueron inducidas innovaciones, siempre que las variaciones de esas proporciones de los factores en Estados Unidos y Japón sean tan grandes que no sea fácil imaginar que esas variaciones representan una sustitución a lo largo de una superficie dada de producción con tecnología constante (figuras 3 y 4) (11).

---

(11) Griliches (1958) ha demostrado, utilizando un modelo de retardos distribuidos, que los aumentos del uso de fertilizantes por los agricultores norteamericanos sólo pueden explicarse en términos de descenso de los precios de los mismos. La relación estimada por él puede identificarse como el movimiento a lo largo de la función de metaproducción. Una muy alta elasticidad de sustitución entre trabajo y capital del orden de 1,7 fue estimada para la agricultura norteamericana por Kislev y Peterson (1982). Entendemos que sus estimaciones representan la elasticidad de sustitución a lo largo de la función de metaproducción, más bien la elasticidad a lo largo de una función de producción de una tecnología dada.

---

---

Para especificar adecuadamente la forma de regresión, hemos inferido la forma de la función subyacente de metaproducción y la forma funcional de la relación entre variaciones de la función de producción y razones de precios de los factores. Por falta de información adecuada a priori, nos hemos limitado a especificar la regresión en forma logarítmico-lineal, aunque con escasa justificación teórica. Si podemos suponer que la función de producción es lineal y homogénea, las proporciones de los factores pueden expresarse exclusivamente en términos de las razones de precios de los factores, con independencia de los precios del producto.

Considerando la tosquedad de los datos y el propósito de este análisis, hemos utilizado observaciones quinquenales (variables fondo medidas a intervalos quinquenales y variables flujo promediadas para cinco años), en lugar de observaciones anuales, para el análisis de regresión (12). Se ha incorporado a nuestro modelo una forma tosca de ajuste, ya que nuestros datos son observaciones quinquenales y los precios se miden generalmente como promedios de los cinco años anteriores al año en que se miden las cantidades (por ejemplo, el número de trabajadores en 1910 va asociado con el salario medio para 1906-1910).

Los resultados de los análisis de regresión se resumen en los cuadros 2a y 2b y 3a y 3b. Los cuadros 2a y 2b presentan las regresiones para las proporciones tierra-trabajo y energía-trabajo. En estas regresiones incluimos originariamente otras variables, como la razón de precios fertilizantes-tierra y la tendencia temporal exponencial. Ahora bien, debido probablemente a elevadas intercorrelaciones, o bien los coeficientes de esas variables fueron no significativos, o bien dieron lugar a resultados no plausibles para los demás coeficientes. En el análisis que sigue prescindimos de esas variables.

El cuadro 2a muestra los resultados para Estados Unidos. Una

---

(12) Para períodos anteriores, o bien no se disponía de observaciones anuales, o en caso contrario eran muy toscas y con frecuencia incongruentes en términos de definición y medida (por ejemplo, medidas sobre la base de la cosecha anual y sobre la base del año natural en otros casos).

---

CUADRO 2a  
 Regresiones de razones tierra-trabajo y energía-trabajo con respecto a los precios relativos de los factores: Estados Unidos, 1880-1980, observaciones quinquenales

| Número de regresión                | Variables dependientes                    | Coeficiente de precio de                   |  |                          |   |                   | Estadístico de Durbin-Watson |
|------------------------------------|---|--|--|--------------------------|---|-------------------|------------------------------|
|                                    |   | Tierra en relación con el salario agrícola | Maquinaria en relación con el salario agrícola | Variable ficticia tiempo | Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) | Desviación típica |                              |
| <b>Relaciones tierra-trabajo:</b>  |   |  |  |                          |   |                   |                              |
| (1)                                | Tierra agrícola por trabajador varón      | -0,248<br>(0,191)                          | -0,313<br>(0,107)                              | 0,984<br>(0,118)         | 0,922   | 0,155             | 1,82                         |
| (2)                                | Tierra cultivable por trabajador varón    | -0,042<br>(0,182)                          | -0,592<br>(0,102)                              | 0,902<br>(0,112)         | 0,945   | 0,148             | 1,92                         |
| (3)                                | Tierra agrícola por hora de trabajo       | -0,182<br>(0,206)                          | -0,267<br>(0,115)                              | 0,971<br>(0,127)         | 0,898   | 0,167             | 1,55                         |
| (4)                                | Tierra cultivable por hora de trabajo     | 0,024<br>(0,195)                           | -0,545<br>(0,109)                              | 0,889<br>(0,120)         | 0,929   | 0,158             | 1,67                         |
| <b>Relaciones energía-trabajo:</b> |   |  |  |                          |   |                   |                              |
| (5)                                | Caballos de potencia por trabajador varón | -1,040<br>(0,466)                          | -1,060<br>(0,261)                              | 1,839<br>(0,287)         | 0,928   | 0,378             | 1,73                         |
| (6)                                | Caballos de potencia por hora de trabajo  | -0,974<br>(0,480)                          | -1,013<br>(0,269)                              | 1,826<br>(0,295)         | 0,919   | 0,389             | 1,65                         |

Nota: Las ecuaciones son lineales logarítmicas. Las desviaciones típicas de los coeficientes estimados se dan entre paréntesis. La variable ficticia tiempo es cero para 1880-1960 y uno para 1965-1980.

Fuente: Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), apéndice C.

---

anomalía importante de nuestras regresiones iniciales para Estados Unidos con respecto a las razones tierra-trabajo y energía-trabajo (no recogidas) fue que se obtuvieron resultados muy deficientes en términos de signos y niveles de significación de los coeficientes estimados, de los coeficientes de determinación y del estadístico de Durbin-Watson al estimar las regresiones para 1880-1980, mientras que los resultados fueron buenos para 1880-1960. Esta anomalía parece explicarse por las deficiencias de los datos sobre precios de la tierra. Nuestro precio de la tierra lo medimos por la unidad media de tierra en las explotaciones agrícolas. Es esta una medida del precio de la tierra como fondo, pero no el precio del servicio de la tierra para la producción agraria. Como es bien sabido, los precios de la tierra agrícola en Estados Unidos divergieron rápidamente de las rentas agrarias de la tierra durante el período 1960-1980 a causa de la expansión de la demanda para usos no agrícolas y de la previsión de la continuación de la inflación (13). En consecuencia, se elevó el precio de fondo de la tierra en comparación con el salario agrícola después de 1960. No obstante, las rentas de la tierra parecen haber descendido en comparación con el salario agrícola, aunque todavía no disponemos de las series temporales nacionales agregadas de rentas agrarias.

Para ajustar la divergencia entre los precios de fondo y los de servicio de la tierra agrícola, en las regresiones del cuadro 2a hemos incluido una variable ficticia que se especifica como cero para 1880-1960 y como uno después de 1960. Alrededor del 90 por ciento de la variación del coeficiente tierra-trabajo y del coeficiente energía-trabajo se explica por la variación de sus relaciones de precios junto con las variables ficticias. Todos los coeficientes son negativos, excepto el coeficiente tierra-precio de la regresión (4). Estos resultados indican que los fuertes aumentos de tierra y energía por trabajador en la agricultura norteamericana durante los últimos 100 años han estado estrechamente asociados con descensos del precio de la tierra, y de la energía y maquinaria en comparación con el salario agrícola. La hipótesis de que la tierra

---

(13) Sobre la divergencia entre los precios de la tierra agrícola y las rentas de la tierra en Estados Unidos desde 1960, véase Doll y Widdows (1982).

---

---

y la energía debieran ser tratadas como factores complementarios la confirman los coeficientes negativos. Esto parece indicar que, además de la complementariedad a lo largo de una superficie de producción fija, las innovaciones mecánicas que elevan la relación marginal de sustitución de trabajo por energía tienden a elevar también la relación marginal de sustitución de trabajo por tierra.

Los resultados, al utilizar las mismas regresiones para Japón (cuadro 2b), son muy inferiores en términos de criterios estadísticos. Esto se debe probablemente a que los recorridos de variación observada de las razones tierra-trabajo y energía-trabajo son demasiado pequeños en Japón para detectar relaciones significativas entre las proporciones de los factores y las razones de precios. También pueden reflejar el hecho de que las innovaciones mecánicas en Japón fueron desarrolladas y adoptadas primordialmente para incrementar el rendimiento, y no como un sustitutivo del trabajo, en el período anterior a la Segunda Guerra Mundial.

Para Estados Unidos, los resultados de los análisis de regresión de los determinantes del uso de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable se presentan en el cuadro 3a. Indican que las variaciones de la razón de precios fertilizantes-tierra explican por sí solas más del 90 por ciento de la variación del uso de fertilizantes. En cierta medida, los fertilizantes pueden ser sustituidos por trabajo humano (por ejemplo, la escarda). Un factor más importante de la historia japonesa serían los efectos de la sustitución de trabajo asignado a la producción de abonos por el agricultor, como estiércol animal y de origen vegetal, por fertilizantes comerciales (14).

---

(14) Las innovaciones biológicas representadas por mejoras de las variedades vegetales cultivadas, caracterizadas por una mayor respuesta a los fertilizantes, tienden a ahorrar tierra y a usar trabajo. El potencial de rendimiento de las variedades mejoradas suele lograrse sólo cuando se combinan elevados niveles de fertilización con elevados niveles de atención y de oportuno manejo del agua. En este aspecto, la introducción de variedades de alto rendimiento intensifica la sustitución de tierra por fertilizantes y trabajo. Por otra parte, los fertilizantes comerciales tienen efectos significativos de ahorro de trabajo, ya que sustituyen a los fertilizantes de producción propia. En Japón, la producción de fertilizantes de producción propia, como el estiércol, los abonos de origen vegetal, el compost y los excrementos, ha ocupado tradicionalmente una porción significativa de la jornada de trabajo del agricultor. Al aumentar la oferta de fertilizantes comerciales, los agricultores pueden dedicar su trabajo a mejorar las prácticas de cultivo en forma de mejor preparación para la siembra y de control de la maleza.

## CUADRO 2b

Regresiones de razones tierra-trabajo y energía-trabajo con respecto a los precios relativos de los factores:  
Japón, 1880-1980, observaciones quinquenales

| Número de regresión | Variables dependientes   | Coeficiente de precio de                   |  |   |                   | Estadístico de Durbin-Watson |
|---------------------|--|--|--|---|-------------------|------------------------------|
|                     |  | Tierra en relación con el salario agrícola | Máquinaria en relación con el salario agrícola | Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) | Desviación típica |                              |
| (7)                 | Relaciones tierra-trabajo:<br>Tierra cultivable                            | -0,147<br>(-0,068)                         | -0,408<br>(0,034)                              | 0,893   | 0,123             | 1,00                         |
| (8)                 | por trabajador varón<br>Tierra cultivable                                  | 0,069<br>(0,067)                           | -0,354<br>(0,060)                              | 0,680   | 0,215             | 0,48                         |
| (9)                 | por hora de trabajo<br>Relaciones energía-trabajo:<br>Caballos de potencia | 0,221<br>(0,375)                           | -1,146<br>(0,188)                              | 0,695   | 0,675             | 0,37                         |
| (10)                | por trabajador varón<br>Caballos de potencia                               | 0,143<br>(0,430)                           | -1,091<br>(0,216)                              | 0,615   | 0,773             | 1,74                         |
|                     | por hora de trabajo  |  |  |   |                   |                              |

Nota: Las ecuaciones son lineales logarítmicas. Las desviaciones típicas de los coeficientes estimados se dan entre paréntesis.  
Fuente: Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development. An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), apéndice C.

La comparación del cuadro 3a con el 3b muestra una semejanza llamativa en la estructura de la demanda de fertilizantes de Estados Unidos y Japón. A pesar de las enormes diferencias existentes entre los dos países en cuanto al clima, a la dotación inicial de factores, a las instituciones sociales y económicas y a la organización, los resultados de estos dos cuadros parecen sugerir que el mecanismo de inducción de innovaciones y la respuesta de los agricultores a las oportunidades económicas han sido sustancialmente los mismos.

En conjunto, los resultados de los análisis estadísticos son congruentes con la hipótesis formulada al comienzo de esta sección. Tanto en Japón como en Estados Unidos, los factores se han sustituido entre sí a lo largo de una función de metaproducción, primordialmente en respuesta a la tendencia a largo plazo de los precios de los factores.

CUADRO 3a

**Regresiones de uso de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable con respecto a los precios de los factores: Estados Unidos, 1880-1980**

| Número de regresión | Coeficiente de precio de                |                                   |                                      | Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) | Desviación típica | Estadístico de Durbin-Watson |
|---------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|------------------------------|
|                     | Fertilizantes en relación con la tierra | Trabajo en relación con la tierra | Maquinaria en relación con la tierra |  |                   |                              |
| (11)                | -1,512<br>(9,119)                       | 0,850<br>(0,212)                  | -0,025<br>(0,233)                    | 0,983  | 0,177             | 2,02                         |
| (12)                | -1,521<br>(0,053)                       | 0,843<br>(0,216)                  |                                      | 0,984  | 0,189             | 2,02                         |
| (13)                | -1,641<br>(0,063)                       |                                   |                                      | 0,972  | 0,250             | 0,88                         |
| (14)                | -1,295<br>(0,092)                       | 1,118<br>(0,129)                  | -0,066<br>(0,176)                    | 0,991  | 0,129             | 2,01                         |
| (15)                | -1,328<br>(0,038)                       | 1,076<br>(0,114)                  |                                      | 0,992  | 0,134             | 2,04                         |
| (16)                | -1,524<br>(0,075)                       |                                   |                                      | 0,954  | 0,318             | 1,04                         |

**Nota:** Basado en observaciones quinquenales. Las ecuaciones son logarítmicas lineales. Los errores típicos se dan entre paréntesis.

**Fuente:** Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), apéndice C.

CUADRO 3b

Regresiones de uso de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable con respecto a los precios relativos de los factores: Japón, 1880-1980

| Número de regresión | Coeficiente de precio de                |                                   |                                      | Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) | Desviación típica | Estadístico de Durbin-Watson |
|---------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|------------------------------|
|                     | Fertilizantes en relación con la tierra | Trabajo en relación con la tierra | Maquinaria en relación con la tierra |  |                   |                              |
| (17)                | -1,033<br>(0,347)                       | 0,432<br>(0,209)                  | 0,019<br>(0,487)                     | 0,884  | 0,388             | 1,67                         |
| (18)                | -1,020<br>(0,082)                       | 0,427<br>(0,173)                  |                                      | 0,891  | 0,388             | 1,67                         |
| (19)                | -1,037<br>(0,093)                       |                                   |                                      | 0,862  | 0,449             | 1,29                         |
| (20)                | -1,626<br>(0,311)                       | 0,496<br>(0,180)                  | 0,906<br>(0,437)                     | 0,909  | 0,345             | 0,63                         |
| (21)                | -1,001<br>(0,082)                       | 0,587<br>(0,190)                  |                                      | 0,892  | 0,386             | 1,06                         |
| (22)                | -1,028<br>(0,098)                       |                                   |                                      | 0,844  | 0,477             | 1,07                         |

Nota: Basado en observaciones quinquenales. Las ecuaciones son logarítmicas lineales. Los errores típicos se dan entre paréntesis.

Fuente: Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), apéndice C.

## CONTRASTE DE LA HIPOTESIS DE CAMBIO TECNICO INDUCIDO

El análisis de la hipótesis de cambio técnico inducido presentada en la sección anterior ha establecido claramente su plausibilidad. No obstante, para contrastarla más rigurosamente es necesario descomponer los cambios de las proporciones de los factores en: (a) el efecto de la sustitución de factores a lo largo de una isocuanta de tecnología fija en respuesta a variaciones de los precios relativos de los factores, y (b) el efecto del cambio técnico sesgado. Además, es necesario determinar si el efecto de cambio técnico sesgado tiene el mismo sentido que el efecto de sustitución de factores inducido por los precios.

En esta sección vamos a efectuar un contraste, con datos quinquenales de 1880-1980, para la agricultura norteamericana y

japonesa. Originariamente fue Binswanger (1974, 1978c) quien desarrolló un método de medición de los sesgos del cambio técnico con varios factores de producción, utilizando la función logarítmica trascendental (translog). Su método ha encontrado numerosas aplicaciones en el análisis de la producción agraria (15). En este estudio vamos a utilizar la función de producción con elasticidad constante de sustitución (CES) de dos niveles, que tiene mayor robustez para la estimación y una mayor claridad de interpretación que la función translog (16).

Para medir el efecto del cambio técnico sesgado, es conveniente especificar que el cambio técnico es del tipo que aumenta los factores. Se supone que el producto se obtiene de  $n$  insumos ( $X_1, \dots, X_n$ ) con coeficientes correlativos de aumento de factores ( $E_1, \dots, E_n$ ), donde  $E_i$  representa la eficiencia de  $X_i$ :

$$Q = f(E_1 X_1, \dots, E_n X_n) \quad (1)$$

suponiendo que la función de producción ( $f$ ) es lineal homogénea y que se comporta correctamente.

Si se supone equilibrio en un mercado competitivo, puede deducirse la siguiente relación (véase el Apéndice A) para explicar las variaciones de las proporciones de los factores:

$$\sum_{j \neq i} s_j \left( \frac{\dot{X}_i}{X_i} - \frac{\dot{X}_j}{X_j} \right) = \sum_{j \neq i} s_j \sigma_{ij} \left( \frac{\dot{P}_j}{P_j} - \frac{\dot{P}_i}{P_i} \right) + \sum_{j \neq i} s_j (1 - \sigma_{ij}) \left( \frac{\dot{E}_j}{E_j} - \frac{\dot{E}_i}{E_i} \right) \quad (2)$$

donde el punto representa la derivada con respecto al tiempo (por tanto, por ejemplo,  $\dot{X}_i/X_i$  representa la tasa de crecimiento de  $X_i$ );

(15) El método de Binswanger fue aplicado a la agricultura japonesa por Kako (1978) y Nghiep (1979).

(16) La función de producción CES de dos niveles fue desarrollada originariamente por Sato (1967). Esta función fue aplicada por vez primera al análisis de la agricultura japonesa por Shintini y Hayami (1975). Más recientemente, ha recurrido nuevamente a ella, por su interés para el análisis de la producción agraria en general, Kaneda (1982). Según este autor, la función CES de dos niveles tiene ventajas con respecto a la función translog por su parsimonia en los parámetros, por su facilidad de interpretación, por la facilidad de los cálculos y por la robustez en las interpolaciones y extrapolaciones. Puede encontrarse un intento temprano de adopción de la función de producción CES para estimar elasticidades de sustitución entre más de dos factores en Roe y Weung (1978).

$P_i$  es el precio real del factor con insumo  $i$ ;  $s_i$  es la participación relativa del insumo  $i$ ;  $\sigma_{ij}$  es la elasticidad parcial de sustitución de Allen, que representa la curvatura de la isocuanta de tecnología fija entre el insumo  $i$  y el insumo  $j$ , suponiendo ajustes óptimos de otros insumos de factores.

El primer miembro de la ecuación (2) es la media ponderada de las tasas de cambio de la proporción del factor  $i$  en comparación con todos los demás factores, utilizando como ponderaciones las participaciones relativas de los factores. Este término puede denominarse «cambio generalizado de la proporción de factores» del insumo  $i$  (GCFP <sub>$i$</sub> ). Como GCFP <sub>$i$</sub>  también puede expresarse como

$$\frac{\dot{X}_i}{X_i} - \sum_j s_j \frac{\dot{X}_j}{X_j}$$

puede interpretarse como un exceso de la tasa de crecimiento de  $X_i$  sobre la tasa media de crecimiento de todos los insumos de factores.

El primer término del segundo miembro de la ecuación (2) mide la aportación a GCFP <sub>$i$</sub>  de las variaciones de los precios relativos de los factores, ya que representa el efecto de sustitución de factores a lo largo de una isocuanta fija. El segundo término mide la aportación del cambio técnico sesgado, ya que representa el efecto de tasas diferenciales de aumento de los factores. En resumen, el segundo miembro de la ecuación (23) descompone GCFP <sub>$i$</sub>  en sustitución de factores inducida por los precios y efectos del cambio técnico sesgado.

Siguiendo la definición de Hicks, el sesgo del cambio técnico en el uso de factores puede definirse para los numerosos casos de factores como el  $i$ -ésimo que usa factores, neutral, o como el  $i$ -ésimo que ahorra factores, según que el segundo término del segundo miembro de la ecuación (2) sea positivo, nulo o negativo, respectivamente.

El sesgo de uso de factores puede evaluarse también en términos de variación de las participaciones relativas de los

factores. La tasa de variación de la participación relativa del factor  $i$ -ésimo puede expresarse como

$$\frac{\dot{s}_i}{s_i} = \sum_{j \neq i} s_j (\sigma_{ij} - 1) \left( \frac{\dot{P}_j}{P_j} - \frac{\dot{P}_i}{P_i} \right) + \sum_{j \neq i} s_j (1 - \sigma_{ij}) \left( \frac{\dot{E}_j}{E_j} - \frac{\dot{E}_i}{E_i} \right) \quad (3)$$

En esta ecuación, la tasa de variación de la participación relativa del factor  $i$ -ésimo se descompone en: (a) efecto de sustitución de factores inducido por el precio (el primer término del segundo miembro), y (b) efecto de cambio técnico sesgado (el segundo término). El sesgo de uso de factores puede definirse en términos del signo del segundo término de la ecuación (3), exactamente de la misma manera que para la ecuación (2).

Para la medición de los sesgos de cambio técnico, utilizamos la ecuación (3). Los sesgos de cambio técnico se midieron por las variaciones de las participaciones relativas de los factores que se habrían dado en ausencia de variaciones de los precios de los factores. En primer lugar, la tasa de variación de la participación relativa de los factores para insumos que se habrían dado durante el año  $t$  en ausencia de variaciones de los precios de los factores ( $b_{it}$ ), se estima restando del primer miembro el primer término del segundo miembro de la ecuación (3). El cambio acumulado de la participación relativa del factor debido al cambio técnico sesgado que se habría dado en el insumo  $i$  desde el año base (1880) hasta el año  $t$  ( $B_{it}$ ) puede calcularse como

$$B_{it} = S_{i, 1880} \cdot \prod_t (1 + b_{it}) - S_{i, 1880}$$

siendo  $S_{i, 1880}$  la participación relativa efectiva del factor en el año base. Las estimaciones de  $B_{it}$  se recogen en el cuadro 4.

El primer término del segundo miembro de la ecuación precedente puede denominarse *participación relativa de factor a precio constante* ( $S'_{it}$ ), que es la participación relativa hipotética del factor que se habría dado en el año  $t$  si los precios de los factores hubieran permanecido iguales que los de 1880. Obsérvese que las participaciones relativas de los factores utilizadas para el cálculo de  $b_{it}$  han sido las de precio constante y no las efectivas. El índice de

## CUADRO 4

Variaciones acumuladas de las participaciones relativas de los factores debidas al cambio técnico sesgado en la agricultura (B<sub>a</sub>) e índice de precios de los factores en relación con el índice agregado de precios de los insumos, Estados Unidos y Japón, 1880-1980

| Año  | Estados Unidos                             |            |             |                   |     |  |            |             |                   |       | Japón                                      |            |             |                   |     |  |            |             |                   |  |
|------|--|------------|-------------|-------------------|-----|--|------------|-------------|-------------------|-------|--|------------|-------------|-------------------|-----|--|------------|-------------|-------------------|--|
|      | Sesgo de uso de factores (B <sub>a</sub> ) |            |             |                   |     | Precio relativo de los factores 1880 = 100 |            |             |                   |       | Sesgo de uso de factores (B <sub>j</sub> ) |            |             |                   |     | Precio relativo de los factores 1880 = 100 |            |             |                   |  |
|      | Trabajo (L)                                | Tierra (A) | Energía (M) | Fertilizantes (F) |     | Trabajo (L)                                | Tierra (A) | Energía (M) | Fertilizantes (F) |       | Trabajo (L)                                | Tierra (A) | Energía (M) | Fertilizantes (F) |     | Trabajo (L)                                | Tierra (A) | Energía (M) | Fertilizantes (F) |  |
| 1880 | 0  | 0          | 0           | 0                 | 100 | 100  | 100        | 100         | 100               | 0     | 0  | 0          | 0           | 0                 | 100 | 100  | 100        | 100         | 100               |  |
| 1885 | -0,4                                       | -0,5       | 0,8         | 0,2               | 102 | 111  | 88         | 76          | 100               | 6,2   | -6,8                                       | 0,2        | 0,4         | 83                | 134 | 96   | 95         | 100         | 95                |  |
| 1890 | -1,0                                       | -1,7       | 2,3         | 0,3               | 108 | 109  | 78         | 67          | 109               | 4,5   | -7,3                                       | 0,9        | 1,9         | 81                | 146 | 86   | 87         | 100         | 87                |  |
| 1895 | -3,3                                       | -0,4       | 3,1         | 0,6               | 107 | 111  | 79         | 69          | 111               | 10,4  | -13,9                                      | 1,8        | 1,6         | 74                | 177 | 72   | 84         | 100         | 84                |  |
| 1900 | -2,9                                       | 0,9        | 1,2         | 0,8               | 116 | 107  | 66         | 69          | 107               | 6,4   | -12,4                                      | 3,2        | 2,8         | 80                | 170 | 61   | 67         | 100         | 67                |  |
| 1905 | -2,6                                       | 0,1        | 1,3         | 1,3               | 106 | 141  | 59         | 45          | 141               | 6,9   | -14,4                                      | 3,3        | 4,1         | 77                | 180 | 64   | 64         | 100         | 64                |  |
| 1910 | -2,6                                       | -0,8       | 1,8         | 1,6               | 110 | 143  | 52         | 38          | 143               | 5,9   | -16,8                                      | 4,6        | 6,1         | 80                | 191 | 53   | 48         | 100         | 48                |  |
| 1915 | -3,6                                       | -1,0       | 2,7         | 1,8               | 112 | 147  | 45         | 38          | 147               | 7,5   | -21,8                                      | 5,8        | 8,4         | 77                | 220 | 48   | 41         | 100         | 41                |  |
| 1920 | -6,4                                       | -0,1       | 4,2         | 2,2               | 125 | 126  | 39         | 43          | 126               | -16,4 | -0,6                                       | 7,7        | 9,2         | 96                | 159 | 37   | 33         | 100         | 33                |  |
| 1925 | -8,6                                       | 2,3        | 4,5         | 1,8               | 123 | 134  | 40         | 33          | 134               | -12,1 | -5,9                                       | 8,3        | 9,6         | 101               | 179 | 28   | 24         | 100         | 24                |  |
| 1930 | -11,2                                      | 2,4        | 6,6         | 2,1               | 135 | 114  | 38         | 26          | 114               | -6,0  | -13,1                                      | 8,8        | 10,3        | 89                | 220 | 27   | 24         | 100         | 24                |  |
| 1935 | -12,0                                      | -0,9       | 10,2        | 2,8               | 118 | 119  | 51         | 29          | 119               | -13,9 | -7,5                                       | 9,2        | 12,0        | 91                | 203 | 32   | 22         | 100         | 22                |  |
| 1940 | -13,0                                      | -2,8       | 12,6        | 3,1               | 127 | 109  | 46         | 28          | 109               | -28,1 | 4,4  | 10,4       | 13,2        | 110               | 158 | 27   | 18         | 100         | 18                |  |
| 1945 | -21,4                                      | 1,1        | 17,0        | 3,4               | 159 | 82   | 31         | 20          | 82                |       |  |            |             |                   |     |  |            |             |                   |  |
| 1950 | -28,5                                      | 3,8        | 20,5        | 4,2               | 166 | 84   | 28         | 14          | 84                |       |  |            |             |                   |     |  |            |             |                   |  |
| 1955 | -38,4                                      | 5,4        | 28,0        | 5,2               | 161 | 91   | 29         | 11          | 91                | -26,3 | 0,1  | 10,9       | 15,2        | 115               | 133 | 32   | 18         | 100         | 18                |  |
| 1960 | -46,5                                      | 12,6       | 29,1        | 4,8               | 164 | 97   | 28         | 9           | 97                | -18,8 | -8,9                                       | 11,5       | 16,1        | 99                | 217 | 28   | 11         | 100         | 11                |  |
| 1965 | -54,4                                      | 12,8       | 35,5        | 6,1               | 158 | 100  | 29         | 7           | 100               | -31,1 | -1,9                                       | 13,1       | 19,7        | 133               | 181 | 20   | 7          | 100         | 7                 |  |
| 1970 | -58,7                                      | 15,3       | 36,9        | 6,3               | 176 | 112  | 26         | 5           | 112               | -40,2 | 5,0  | 14,6       | 20,6        | 169               | 166 | 14   | 5          | 100         | 5                 |  |
| 1975 | -61,8                                      | 16,1       | 37,4        | 8,2               | 181 | 119  | 24         | 6           | 119               | -49,6 | 10,2                                       | 16,0       | 23,4        | 205               | 160 | 10   | 4          | 100         | 4                 |  |
| 1980 | -63,3                                      | 12,5       | 43,8        | 7,1               | 156 | 134  | 24         | 5           | 134               | -47,3 | 7,9  | 16,0       | 23,4        | 195               | 183 | 8  | 4          | 100         | 4                 |  |

sesgo de uso de factores para el factor  $i$  en el año  $t$  puede calcularse mediante la expresión

$$\frac{S_{it}}{S_{i, 1880}} \times 100$$

siendo  $S_{i, 1880}$  la participación relativa efectiva de los factores para 1880.

Para la estimación de  $B_i$  es preciso estimar las elasticidades parciales de sustitución ( $\sigma_{ij}$ ) y las participaciones relativas de los factores ( $s_i$ ). Las elasticidades parciales de sustitución se han estimado mediante el uso de la función CES de producción de dos niveles (véanse los Apéndices B y C, donde se examinan el modelo CES y los datos sobre participación relativa de los factores).

Se acepta la hipótesis de innovación inducida si el sesgo de uso de factores del factor  $i$  está asociado con un descenso del precio del insumo  $i$  en comparación con los precios de los demás insumos. Por tanto, son necesarios los índices de precios de los factores en relación con el índice agregado de los precios de los insumos para contrastar la hipótesis de innovación inducida. El índice agregado de precios de los insumos se ha construido agregando los índices de precios del trabajo, la tierra, la energía y los fertilizantes, utilizando como ponderaciones las participaciones relativas de los factores. Los índices de precios relativos de los factores se obtuvieron deflactando los índices de precios de cada factor mediante índices agregados de precios de los insumos.

Las series temporales de insumos de factores y de precios utilizadas para el análisis efectuado en esta sección son los mismos que para el análisis de las secciones anteriores, excepto que los datos sobre trabajo-hoja se utilizaron exclusivamente para la variable trabajo (L). Para el análisis de la función en el mercado, las medidas de los flujos de insumos, como el número de horas de trabajo, son más apropiadas que las medidas de fondo, como el número de trabajadores. Las medidas de flujo se utilizaron también para la tierra (A), en términos de superficie agrícola, y energía (M), en términos de caballos de potencia, por no haber datos disponibles sobre flujos. Las observaciones de 1945-1950 para

---

Japón —el período de devastación debido a la Segunda Guerra Mundial— se descartaron del análisis, ya que los controles de precios y el racionamiento durante ese período excluyeron la posibilidad de vigencia del supuesto de equilibrio competitivo del mercado, del que se ha deducido nuestro modelo.

Para contrastar la hipótesis de innovación inducida, se comparan los índices de sesgos de uso de factores, medidos por  $(S_{it}^i/S_{i, 1880})$ , con el índice de precios relativos de los factores para cada uno de ellos, en Estados Unidos, en la figura 5 y en Japón, en la figura 6. En ambos países, los movimientos de los índices de sesgos de uso de factores se hallan negativamente asociados con los de precios relativos de los factores, con solo algunas excepciones. Estos resultados apoyan la hipótesis de innovación inducida. Indican que el cambio técnico en ambos países se orientó al uso (o ahorro) de los factores menos (o más) caros en comparación con otros factores.

Se observó una diferencia importante en la sucesión histórica de los sesgos de cambio técnico entre Estados Unidos y Japón. El cambio técnico en la agricultura norteamericana fue sesgado en sentido de ahorro de trabajo durante todo el período en respuesta al continuo aumento del salario en comparación con otros precios de factores. El cambio técnico en Estados Unidos fue casi neutral con respecto al uso de tierra entre 1880 y 1900, período de estabilidad relativa de los precios de la tierra. A continuación fue de ahorro de tierra hasta 1940, al parecer a causa del aumento de los precios de la tierra de 1900 a 1915.

En contraste, el sentido del cambio técnico en Japón fue principalmente de sesgo de uso de trabajo y de uso de tierra hasta alrededor de 1915, en respuesta al descenso relativo del salario y al aumento relativo del precio de la tierra. Después de 1915, los sentidos de los sesgos de trabajo y de tierra cambiaron en respuesta a cambios de sentido de los movimientos de sus precios relativos. Esos contrastes sugieren que en la primera etapa de desarrollo económico el trabajo fue relativamente escaso y la tierra relativamente abundante en Estados Unidos, y que el trabajo fue relativamente abundante y la tierra relativamente escasa en Japón.

---

Por ello, la tecnología se orientó en ambos países al ahorro de factores relativamente escasos, diferentes en Estados Unidos y Japón.

El sentido de los sesgos de uso de factores en Estados Unidos y Japón tendió a converger durante el período siguiente a la

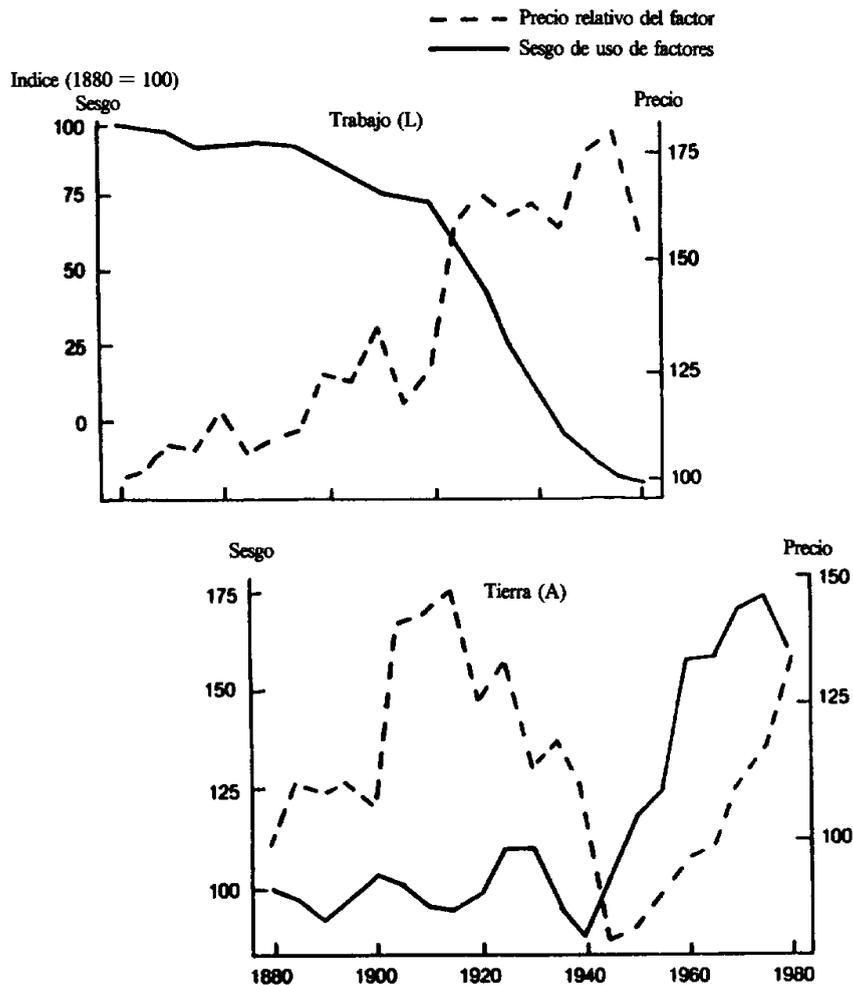


Fig. 5.—Comparaciones individuales entre los índices de sesgo de uso de factores en el cambio técnico (s./s., 1880) y los índices de precios de los factores en relación con el índice agregado de precios de los insumos, Estados Unidos, 1880-1980.

Fuente: Datos del cuadro 4.

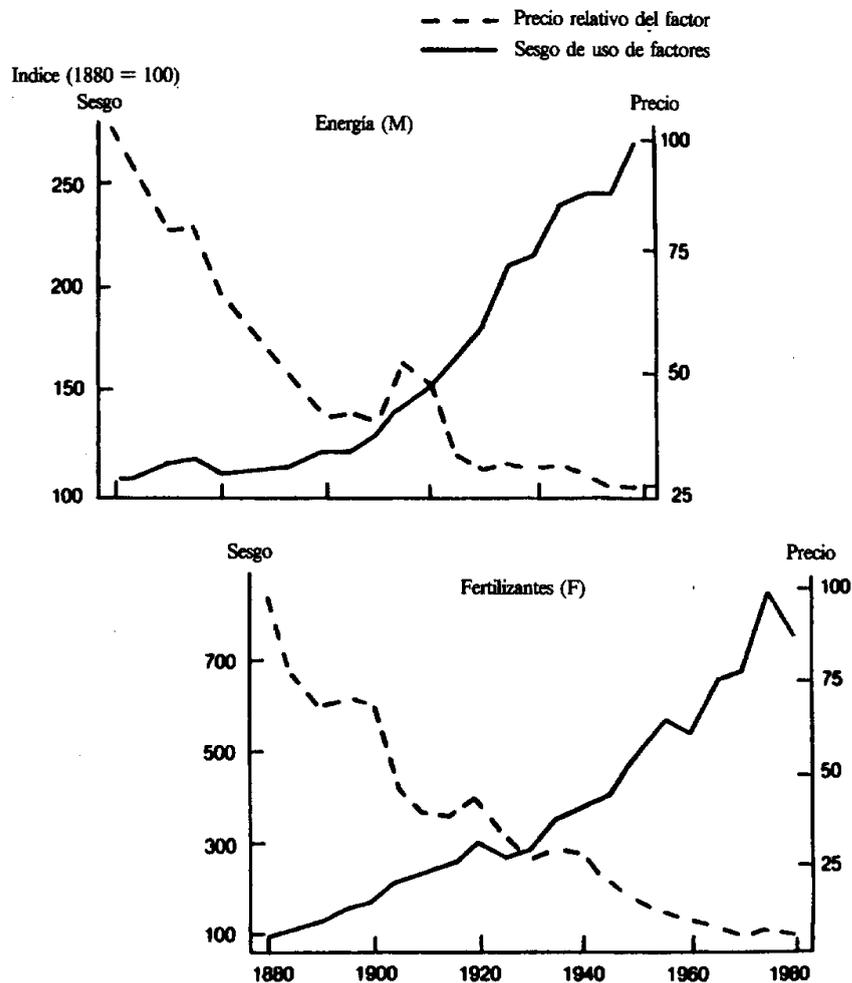


Fig. 5.—(Continuación.)

Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, se encontró una incongruencia importante en el caso de la tierra en Estados Unidos en dicho período, ya que se asoció positivamente un sesgo de uso de factores con fuertes aumentos del precio de la tierra. Esta anomalía puede haber sido más aparente que real, causada por los datos sobre el precio de la tierra como medida del precio de los servicios del factor tierra. Parece razonable esperar que la reciente

incongruencia entre las tendencias del sesgo de tierra y de sus precios pueda resolverse, o al menos reducirse considerablemente, cuando se disponga de datos nacionales sobre la renta de la tierra.

Otra explicación posible de la reciente incongruencia es la dificultad de distinguir entre la causa y el efecto del sesgo de uso

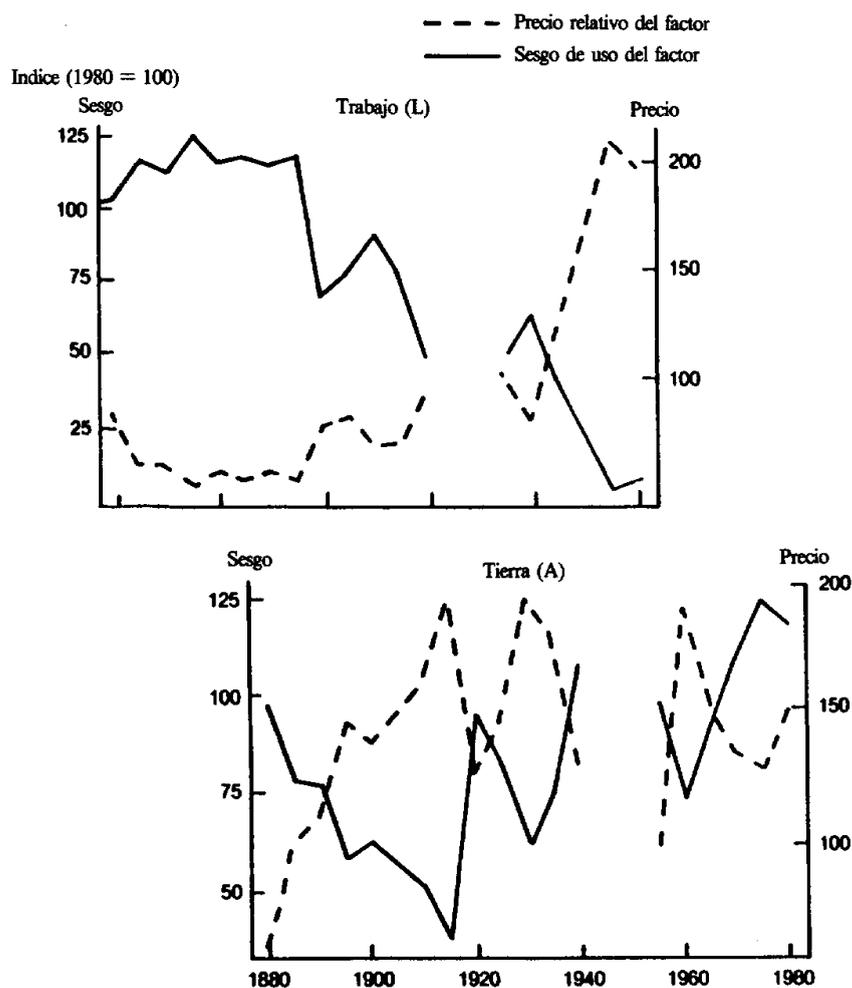


Fig. 6.—Comparaciones individuales entre los índices de sesgo de uso de factores en el cambio técnico (s'/s, 1880) y los índices de precios de los factores en relación con el índice agregado de precios de los insumos, Japón, 1880-1940 y 1955-1980.

Fuente: Datos del cuadro 4.

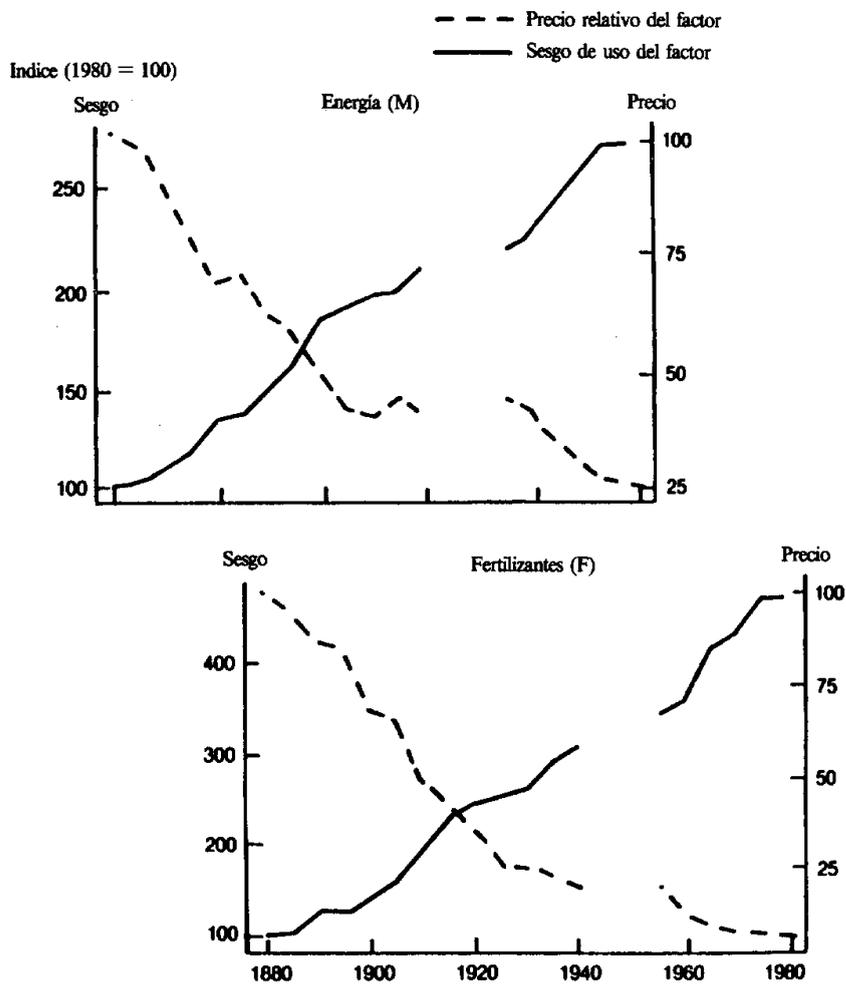


Fig. 6.—(Continuación.)

de los factores a base de datos empíricos *ex post*, especialmente para los factores con oferta inelástica. Dada la inelasticidad de la oferta de tierra, si el cambio técnico fuera muy sensible a un aumento de los precios de la misma en el sentido de su uso, su precio caería menos que en ausencia de cambio técnico. En un caso extremo podría no caer en absoluto (17). Cuando considera-

(17) Este problema fue señalado por Binswanger (1978c), pág. 216.

---

mos esta posibilidad, junto con el problema de los datos sobre precios de la tierra, la aparente incongruencia entre el sesgo de la tierra y la tendencia de su precio en Estados Unidos durante los últimos años difícilmente puede tomarse como una matización significativa de la hipótesis de innovación inducida.

Nuestras estimaciones de los sesgos de ahorro de factores en la agricultura norteamericana son bastante congruentes con las de Binswanger (1974b). Sin embargo, con respecto a la hipótesis de innovación inducida, encontró una incongruencia importante entre el sesgo de uso de maquinaria y el aumento del precio relativo de la maquinaria y concluyó que existía un sesgo inherente en el cambio técnico, en el sentido de uso de maquinaria. Su conclusión fue muy criticada por Kislev y Peterson sobre la base de que el índice USDA de precios de la maquinaria utilizado por Binswanger sobreestima el aumento de los precios, ya que no ha sido ajustado para tener en cuenta el cambio de calidad de la maquinaria (Kislev y Peterson, 1981). En nuestro caso, los precios de la maquinaria fueron ajustados para que tuvieran en cuenta el cambio de calidad.

Nuestros resultados para Japón fueron diferentes de los de Nghiep (1979), particularmente por lo que hace a su descubrimiento de un sesgo de ahorro de trabajo en el cambio técnico durante el período anterior a la guerra. El sesgo de ahorro de trabajo en su caso se basó en trabajo medido en términos del número de trabajadores. Este aumentó mucho menos que el de horas de trabajo que fue el utilizado en nuestro análisis. Además, su análisis sólo cubrió el período posterior a 1903 y no el período anterior, para el que se observó en este estudio el sesgo de uso de trabajo.

El índice de sesgo de uso de factores ( $S'_i/S_{i,1880}$ ) utilizado para el análisis en las figuras 5 y 6 muestra las tasas de variación de las participaciones relativas de los factores debidas al sesgo del cambio técnico. Ese índice es una medida apropiada de la magnitud en que aumentó el insumo de un factor en relación con el de otros, debido al sesgo del cambio técnico. Sin embargo, no es una medida apropiada del efecto absoluto sobre la estructura de costes de la producción agraria del aumento del insumo de ese factor en

---

comparación con otros factores, debido al cambio técnico. Por ejemplo, aunque la tasa de aumento del sesgo de uso de factores para un insumo medido por  $(S'_{it}/S_{i, 1880})$  es alta, el efecto absoluto de ese sesgo en las participaciones relativas de los factores será pequeño si dicha participación relativa en el período base ( $S_{i, 1880}$ ) es muy pequeña. Por otra parte, un aumento moderado de  $(S'_{it}/S_{i, 1880})$  puede dar lugar a un gran cambio de la correspondiente participación relativa de los factores a precios constantes, si ésta es grande en el período base. Para comparar los efectos absolutos del sesgo de cambio técnico sobre la estructura de costes de la producción, es más conveniente utilizar el cambio absoluto entre la participación relativa de los factores a precios constantes y la efectiva en el período base ( $B_{it} = S'_{it} - S_{i, 1880}$ ), en lugar del cambio relativo  $(S'_{it}/S_{i, 1880})$ .

Los cambios acumulados de las participaciones relativas de los factores debidos al sesgo de cambio técnico se comparan en la figura 7 para Estados Unidos y Japón. Los efectos absolutos del sesgo de cambio técnico en la estructura de costes de la producción agraria medida por los cambios acumulados son bastante diferentes para los dos países. En Estados Unidos, el cambio técnico sesgado dio lugar a un gran aumento de la participación relativa de la energía en el coste total de la producción y a una disminución asociada de la participación relativa del trabajo. Aun cuando la tasa de aumento del sesgo de uso de fertilizantes fue alta, medida por  $(S'_{it}/S_{i, 1880})$ , su efecto absoluto sobre la estructura de participaciones relativas de los factores fue relativamente pequeña, ya que fue muy pequeña la participación relativa inicial de los factores para los fertilizantes. Parece claro que los efectos dominantes del cambio técnico sesgado en la agricultura norteamericana sobre la estructura de producción fueron de ahorro de trabajo y de uso de energía (con maquinaria) durante todo el período de análisis.

En contraste, en Japón el efecto absoluto del sesgo de uso de factores en las participaciones relativas de los factores fue mayor para los fertilizantes y a continuación para la energía, y el efecto de ahorro de factores fue mayor para el trabajo durante todo el período. Sin embargo, es de notar que los efectos dominantes del

---

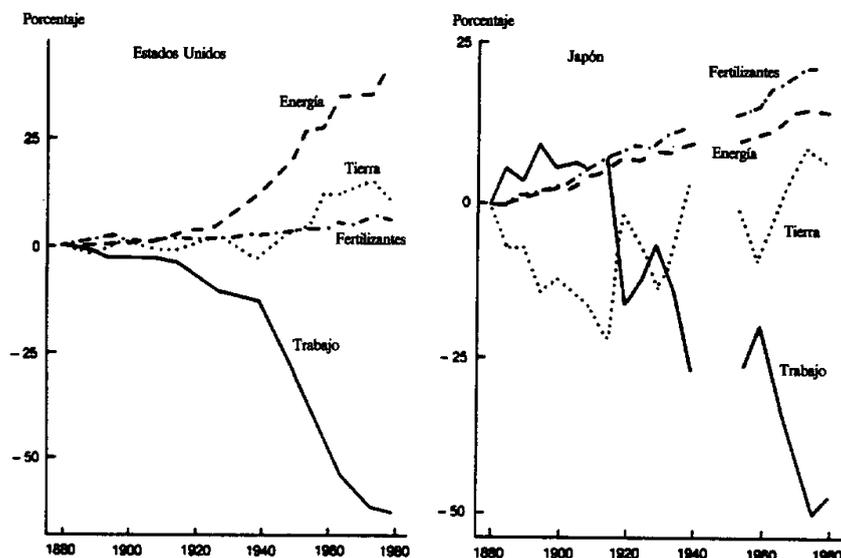


Fig. 7.—Variaciones acumuladas de las participaciones relativas de los factores debidas al cambio técnico sesgado en la agricultura (B.), Estados Unidos y Japón, 1880-1980.  
Fuente: Datos del cuadro 4.

cambio técnico sesgado durante la primera fase de desarrollo económico, aproximadamente hasta 1915 fueron de ahorro de tierra y de uso de trabajo. Parece claro que durante el primer período, en el que el trabajo era relativamente abundante y la tierra representaba una importante restricción a la producción agraria, los principales esfuerzos de desarrollo tecnológico en Japón se orientaron a facilitar la sustitución de tierra por trabajo. Posteriormente, al aumentar los salarios, primordialmente debido a la expansión de la demanda de trabajo de los sectores no agrarios, el desarrollo tecnológico parece haberse reorientado en sentido de ahorro de trabajo, al facilitar la sustitución de trabajo por energía y fertilizantes.

#### ORIENTACION DEL CAMBIO TECNOLOGICO POR TRAYECTORIAS ALTERNATIVAS

A pesar de las grandes diferencias de dotación de recursos, tanto Estados Unidos como Japón consiguieron sostener el

---

crecimiento de la producción y de la productividad agrarias durante el período 1880-1980. Contaron, además, en común con la capacidad para desarrollar tecnología agrícola que facilitó la sustitución de factores escasos por otros relativamente abundantes, de acuerdo con las señales de precios del mercado.

El crecimiento rápido de la agricultura en ambos países no podría haberse producido sin esa sustitución dinámica de factores. Si ésta se hubiera limitado a seguir una superficie fija de producción, el crecimiento agrario habría quedado notablemente limitado por la oferta inelástica de los factores más limitativos. El desarrollo de una corriente continua de nueva tecnología, que alteró la superficie de producción para adaptarse a las tendencias a largo plazo de dotación de recursos y precios de los factores, fue la clave del éxito del crecimiento agrario en Estados Unidos y en Japón.

En ambos países el vigoroso crecimiento de las industrias que suministraban maquinaria y fertilizantes a precios continuamente decrecientes fue condición indispensable del crecimiento agrario. Igualmente importantes fueron los esfuerzos de investigación y de extensión para explotar plenamente las oportunidades creadas por el desarrollo industrial. Sin la creación de variedades vegetales sensibles a los fertilizantes, los beneficios de los menores precios de éstos habrían sido escasos. El éxito del crecimiento agrario, tanto en Estados Unidos como en Japón, parece estribar en la capacidad de sus agricultores, de las instituciones de investigación y de las industrias de suministros agrarios para explotar nuevas oportunidades en respuesta a la información transmitida a través de las variaciones de los precios relativos.

---

## APENDICE A

### DEDUCCION DE LAS ECUACIONES PARA MEDIR EL EFECTO DEL CAMBIO TECNICO SESGADO

Suponiendo una función homotética de producción como la especificada en la ecuación (1) y también la existencia de equilibrio en un mercado de competencia, la función de costes que relaciona el coste de producción (C) con el producto y con los precios reales de los insumos ( $P_1, \dots, P_n$ ) puede ser

$$C = Q \cdot g(P_1/E_1, \dots, P_n/E_n) \quad (\text{A-1})$$

siendo  $g$  la función de coste unitario. Los precios de los factores ( $P_i$ ) se dividen por los coeficientes de aumento de los factores ( $E_i$ ), ya que un aumento proporcional de  $E_i$  tiene el mismo efecto que una disminución proporcional de  $P_i$ . Del postulado de Shephard obtenemos

$$\frac{\partial C}{\partial P_i} = X_i = \frac{Q}{E_i} \left( \frac{\partial g}{\partial P_i} \right), \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{A-2})$$

La función de coste unitario se relaciona con la elasticidad parcial de sustitución de Allen ( $\sigma_{ij}$ ) de la manera siguiente:

$$\sigma_{ij} = \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial P_i \partial P_j} g}{\frac{\partial g}{\partial P_i} \frac{\partial g}{\partial P_j}} \quad (\text{A-3})$$

La diferenciación de la ecuación (A-2) con respecto al tiempo (t), utilizando (A-3), da

$$\frac{\dot{X}_i}{X_i} = \frac{\dot{Q}}{Q} - \frac{\dot{E}_i}{E_i} + \sum_j s_j \sigma_{ij} \left( \frac{\dot{P}_j}{P_j} - \frac{\dot{E}_j}{E_j} \right) \quad (\text{A-4})$$

expresión en la que el punto indica la derivada con respecto al tiempo y  $s_j$  es la participación relativa del insumo  $j$ -ésimo. La

ecuación (A-4) es la función de demanda de factores en la ecuación de crecimiento. Como  $s_j\sigma_{ij}$  es la elasticidad de la demanda del insumo  $i$  con respecto al precio del insumo  $j$  y la demanda de factores es homogénea de grado cero con respecto a los precios de los insumos, se obtiene la siguiente relación:

$$\sum_j s_j\sigma_{ij} = 0 \quad (\text{A-5})$$

La ecuación (2) puede obtenerse incorporando la ecuación anterior a la ecuación (A-4) y utilizando las relaciones  $\sum_j s_j = 1$  y

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \sum_j s_j \left( \frac{\dot{X}_j}{X_j} + \frac{\dot{E}_j}{E_j} \right)$$

La ecuación (3) puede obtenerse expresando la participación relativa del factor  $i$ -ésimo en la forma siguiente:

$$\frac{\dot{s}_i}{s_i} = \frac{\dot{P}_i}{P_i} + \frac{\dot{X}_i}{X_i} - \frac{\dot{Q}}{Q} \quad (\text{A-6})$$

Como el producto total se distribuye totalmente entre los factores de forma que  $Q = \sum_j P_j X_j$ , se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \sum_j s_j \left( \frac{\dot{P}_j}{P_j} + \frac{\dot{X}_j}{X_j} \right) \quad (\text{A-7})$$

Sustituyendo la ecuación (A-7) en la ecuación (A-6), se obtiene

$$\frac{\dot{s}_i}{s_i} = \sum_{j \neq i} s_j \left( \frac{\dot{P}_i}{P_i} - \frac{\dot{P}_j}{P_j} \right) + \sum_{j \neq i} s_j \left( \frac{\dot{X}_i}{X_i} - \frac{\dot{X}_j}{X_j} \right) \quad (\text{A-8})$$

La ecuación (A-3) se obtiene insertando la ecuación (A-4) en la ecuación (A-8).

## APENDICE B

### FUNCION DE PRODUCCION CES DE DOS NIVELES

La función de producción CES de dos niveles se especifica para la agricultura incluyendo el trabajo (L), la tierra (A), la maquinaria (M) y los fertilizantes (F) como cuatro factores de producción para obtener el producto (Q), bruto de productos intermedios. Como es razonable suponer que la maquinaria es un factor que sustituye principalmente al trabajo, y los fertilizantes son un factor que sustituye a la tierra, parece apropiado especificar la ecuación de primer nivel de la función CES de dos niveles de la manera siguiente:

$$Z_1 = [\alpha(e^{\delta_L t} L)^{-p_1} + (1 - \alpha)(e^{\delta_M t} M)^{-p_1}]^{-1/p_1} \quad (\text{B-1})$$

$$Z_2 = [\beta(e^{\delta_A t} A)^{-p_2} + (1 - \beta)(e^{\delta_F t} F)^{-p_2}]^{-1/p_2} \quad (\text{B-2})$$

siendo  $p_i$  parámetros de sustitución;  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros de distribución, y  $\delta_i$  ( $i = L, M, A, F$ ) tasas de aumento de los factores para los respectivos insumos, que se suponen constantes para los períodos en cuestión. También se supone que ambas funciones son homogéneas lineales (18).

Utilizando las expresiones de Sen (1959),  $Z_1$  se considera un agregado de insumos de trabajo y  $Z_2$  un agregado de insumos de tierra. Como es razonable esperar que ambas clases de insumos sean en gran parte separables, la relación entre el producto (Q) y las dos categorías de insumos pueden expresarse mediante la función CES de segundo nivel de la manera siguiente:

$$Q = [\gamma(Z_1)^{-p} + (1 - \gamma)(Z_2)^{-p}]^{-1/p} \quad (\text{B-3})$$

siendo  $p$  y  $\gamma$  parámetros de sustitución y de distribución, respectivamente.

---

(18) En las ecuaciones (9-12) y (9-13), las variables de factores se han normalizado en uno y el tiempo se hace igual a cero en el período base. En las estimaciones de la función CES basada en las ecuaciones (9-18), (9-19) y (9-23) se utilizó 1960 como año base.

Mientras que las elasticidades directas de sustitución se expresan como  $\sigma_1 = 1/(p_1 + 1)$ ,  $\sigma_2 = 1/(p_2 + 1)$  y  $\sigma = 1/(p + 1)$ , las elasticidades parciales de sustitución de Allen se expresan mediante

$$\sigma_{LA} = \sigma_{LF} = \sigma_{AM} = \sigma_{MF} = \sigma \quad (\text{B-4})$$

$$\sigma_{LM} = \sigma + \frac{1}{s_1} (\sigma_1 - \sigma) \quad (\text{B-5})$$

$$\sigma_{AF} = \sigma + \frac{1}{s_2} (\sigma_2 - \sigma) \quad (\text{B-6})$$

siendo  $s_1$  y  $s_2$  las participaciones relativas de las categorías primera y segunda de insumos, respectivamente.

Los parámetros de la función CES de producción se estiman utilizando las condiciones de equilibrio del mercado de competencia de la manera siguiente:

$$\ln\left(\frac{M}{L}\right) = -\frac{1}{p_1 + 1} \ln\left(\frac{\alpha}{1 - \alpha}\right) + \frac{1}{p_1 + 1} \ln\left(\frac{P_L}{P_M}\right) + \frac{p_1}{p_1 + 1} (\delta_L - \delta_M)t \quad (\text{B-7})$$

$$\ln\left(\frac{F}{A}\right) = -\frac{1}{p_2 + 1} \ln\left(\frac{\beta}{1 - \beta}\right) + \frac{1}{p_2 + 1} \ln\left(\frac{P_A}{P_F}\right) + \frac{p_2}{p_2 + 1} (\delta_A - \delta_F)t \quad (\text{B-8})$$

$$\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) = -\frac{1}{p + 1} \ln\left(\frac{\gamma}{1 - \gamma}\right) + \frac{1}{p + 1} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (\text{B-9})$$

siendo  $P_L$ ,  $P_A$ ,  $P_M$  y  $P_F$  los precios del trabajo, de la tierra, de la maquinaria y de los fertilizantes, respectivamente, y  $P_1$   $P_2$  los precios de  $Z_1$  y  $Z_2$ , que se calculan mediante

$$P_1 = (P_L L + P_M M)/Z_1 \quad (\text{B-10})$$

$$P_2 = (P_A A + P_F F)/Z_2 \quad (\text{B-11})$$

De la estimación de las ecuaciones de regresión (A-7) y (B-8) podemos obtener estimaciones de  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $(\delta_L - \delta_M)$  y de  $(\delta_A$

—  $\delta_F$ ), pero no podemos obtener  $\delta_L$ ,  $\delta_M$ ,  $\delta_A$  y  $\delta_F$  por separado. Por tanto,  $Z_1$  y  $Z_2$  no pueden medirse directamente, y de ahí que no pueda estimarse la ecuación (B-9). Por consiguiente, para proceder a la estimación del segundo nivel, definimos

$$\hat{Z}_1 = e^{\delta_M t} Z_1; \hat{Z}_2 = e^{\delta_F t} Z_2;$$

$$\hat{P}_1 = e^{\delta_M t} P_1; \hat{P}_2 = e^{\delta_F t} P_2$$

que pueden obtenerse de las ecuaciones (B-7), (B-8), (B-10) y (B-11). La sustitución de esas relaciones en la ecuación (B-9) da lugar a la siguiente ecuación, que es estimable,

$$\ln \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1} = - \frac{1}{p+1} \ln \left( \frac{\gamma}{1-\gamma} \right) + \frac{1}{p+1} \ln \frac{\hat{P}_1}{\hat{P}_2} + \frac{p}{p+1} (\delta_M - \delta_F)t \quad (\text{B-12})$$

De las estimaciones de regresión de  $(\delta_L - \delta_M)$ ,  $(\delta_A - \delta_F)$  y de  $(\delta_F - \delta_M)$ , basadas en las ecuaciones (B-7), (B-8) y (B-12), pueden obtenerse las tasas diferenciales de aumento de los factores para cualquier par de insumos.

Se incluyó en el análisis de regresión una variable ficticia de tiempo para ajustar el posible cambio estructural entre las diferentes fases de desarrollo económico. La variable ficticia toma el valor cero para el período 1880-1925 y uno para el período 1930-1980 en Estados Unidos, y cero para 1880-1940 y uno para 1955-1980 en Japón. La delimitación del tiempo para Japón en el período anterior a la Segunda Guerra Mundial y en los períodos posteriores a la guerra debe parecer lógica dado el obvio cambio estructural en la agricultura, así como en toda la economía. Por otra parte, no está claro qué delimitación temporal puede utilizarse para Estados Unidos. Por tanto, hemos ensayado varias delimitaciones alternativas y elegido la que dio los mejores resultados en términos de bondad de ajuste y de significación estadística de los parámetros estimados. Durante todo ese proceso, el período total se dividió en dos subperíodos —antes de 1930 y a partir de 1930.

Para la estimación de las ecuaciones de primer nivel (B-7) y (B-8), se utilizó el método de mínimos cuadrados generalizados

**CUADRO B.1**  
**Regresiones para estimar los parámetros de la función de producción CES de dos niveles:**  
**Estados Unidos y Japón, 1880-1980**

| Número de regresión    | Variables dependientes           | Coeficientes de   |                  |                    |                        |   | Error típico de las estimaciones | Estadístico de Durbin-Watson |      |
|------------------------|----------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|------|
|                        |                                  | Intersección      | Precio relativo  | Tendencia temporal | Variables ficticias de | Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) |                                  |                              |      |
|                        |                                  |                   |                  |                    | Intersección           | Tendencia temporal                              |                                  |                              |      |
| <b>Estados Unidos:</b> |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| <b>Primer nivel:</b>   |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| (R 1)                  | Razón maquinaria-trabajo (M/L)   | -2,121<br>(0,114) | 0,191<br>(0,110) | 0,037<br>(0,017)   | 2,027<br>(0,120)       | 0,334<br>(0,013)                                | —                                | 0,083                        | 0,98 |
| (R 2)                  | Razón fertilizantes-tierra (F/A) | -0,174<br>(0,135) | 0,349<br>(0,112) | 0,183<br>(0,021)   | 0,176<br>(0,139)       | 0,073<br>(0,017)                                | —                                | 0,102                        | 1,39 |
| <b>Segundo nivel:</b>  |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| (R 3)                  |                                  | -0,514<br>(0,364) | 0,191<br>(0,276) | 0,198<br>(0,050)   | 0,611<br>(0,367)       | -0,093<br>(0,042)                               | 0,997                            | 0,099                        | 1,18 |
| <b>Japón:</b>          |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| <b>Primer nivel:</b>   |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| (R 4)                  | Razón maquinaria-trabajo (M/L)   | -1,160<br>(0,134) | 0,111<br>(0,153) | -0,019<br>(0,023)  | 1,237<br>(0,125)       | 0,704<br>(0,052)                                | —                                | 0,116                        | 1,72 |
| (R 5)                  | Razón fertilizantes-tierra (F/A) | 0,183<br>(0,132)  | 0,182<br>(0,210) | 0,187<br>(0,042)   | -0,099<br>(0,182)      | -0,110<br>(0,047)                               | —                                | 0,157                        | 0,71 |
| <b>Segundo nivel:</b>  |                                  |                   |                  |                    |                        |   |                                  |                              |      |
| (R 6)                  |                                  | 0,055<br>(0,093)  | 0,239<br>(0,109) | 0,219<br>(0,018)   | -0,109<br>(0,116)      | -0,582<br>(0,047)                               | 0,996                            | 0,080                        | 1,20 |

**Nota:** Basado en observaciones quinquenales. Para Japón se prescinde de las observaciones de 1945-1950. Las ecuaciones de primer nivel se estiman mediante mínimos cuadrados generalizados. Las ecuaciones de segundo nivel se estiman mediante mínimos cuadrados ordinarios. Los errores típicos de los coeficientes estimados se dan entre paréntesis.

**Fuente:** Datos de Y. Hayami y V. W. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*, ed. rev. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press, 1985), apéndice C.

(GLS). Para la ecuación de segundo nivel se aplicó el método mínimos cuadrados ordinarios. Se suprimieron de las regresiones las variables ficticias para los precios relativos, ya que sus coeficientes, o bien fueron insignificantes, o bien su signo no fue relevante. Los resultados se resumen en el cuadro B.1. Las elasticidades parciales de sustitución de Allen obtenidas de esos resultados se recogen en el cuadro B.2.

CUADRO B.2

## Estimaciones de las elasticidades parciales de sustitución de Allen

|  | Estados Unidos |           | Japón     |           |
|--|----------------|-----------|-----------|-----------|
|  | 1880-1925      | 1930-1980 | 1880-1940 | 1955-1980 |
| Elasticidad parcial de sustitución de Allen: |                |           |           |           |
| $\sigma_{LM}$                                | .191           | .191      | .029      | .013      |
| $\sigma_{AF}$                                | .777           | .741      | .093      | .108      |
| Otros  | .191           | .191      | .239      | .239      |

Notas: A = tierra; M = energía (maquinaria); L = trabajo, y F = Fertilizantes.

## APENDICE C

## PARTICIPACIONES RELATIVAS DE LOS FACTORES E INDICES AGREGADOS DE PRECIOS DE LOS FACTORES EN ESTADOS UNIDOS Y JAPON

Las participaciones relativas del trabajo, tierra, maquinaria y fertilizantes en Estados Unidos fueron estimadas por Binswanger (1978c) para 1912-1968. Hemos extrapolado las estimaciones de Binswanger de las participaciones relativas de los factores mediante índices del valor de los insumos que eran producto de índices de cantidad de insumos e índices de precios calculados a base de los datos del apéndice C, *Agricultural Development* (Hayami y Ruttan, 1985). Las participaciones relativas del trabajo, la tierra, la energía (maquinaria) y los fertilizantes se ajustaron para que sumaran 100. Para Japón se utilizaron las estimaciones de

---

Yamada (1972). Se supuso que las participaciones relativas del capital y de los insumos corrientes corresponden a las de energía y fertilizantes, respectivamente. Este supuesto puede justificarse como una primera aproximación, considerando las ponderaciones dominantes de animales de tiro y maquinaria en el valor del capital, y de los fertilizantes en el valor de los insumos corrientes en la agricultura japonesa. También se supuso que las participaciones relativas para 1880 y 1980 fueron las mismas que para 1985 y 1975.

El índice agregado de precios de los factores fue construido agregando índices de trabajo, energía y precios de fertilizantes mediante el uso de participaciones relativas de los factores como ponderaciones. Las de la participación relativa de los factores se han cambiado para cada intervalo de cinco años, y los índices construidos con las diferentes ponderaciones se han encadenado en un solo índice agregado de precios de los factores.

### **Bibliografía**

- AHMAD S. 1966. «On the Theory of Induced Invention», *Economic Journal*, vol. 76, no. 302, pp. 344-357.
- 1967a. «Reply to Professor Fellner», *Economic Journal*, vol. 77, no. 307, pp. 664-665.
- 1967b. «A Rejoinder to Professor Kennedy», *Economic Journal*, vol. 77, no. 308, pp. 960-963.
- BINSWANGER, H. P. 1974a. «A Microeconomic Approach to Induced Innovation», *Economic Journal*, vol. 84, no. 336, pp. 940-958.
- 1974b. «The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production», *American Economic Review*, vol. 64, no. 6, pp. 964-976.
- 1978a. «Induced Technical Change: Evolution of Thought», in H. P. Binswanger and V. W. Ruttan, eds., *Induced Innovation: Technology, Institutions and Development* (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press).
-

- 
- 1978b. «The Microeconomics of Induced Technical Change», in Hans P. Binswanger and Vernon W. Ruttan, eds., *Induced Innovation: Technology, Institutions and Development* (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press).
- 1978c. «Measured Biases of Technical Change: The United States», in Hans P. Binswanger and Vernon W. Ruttan, eds., *Induced Innovation: Technology, Institutions and Development* (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press).
- BRONFENBRENNER, M. 1944. «Production Functions: Cobb-Douglas, Interfirm, Intrafirm», *Econometrica*, vol. 12, no. 1, pp. 35-44.
- BROWN, M. 1966. *On the Theory and Measurement of Technological Change* (Cambridge, England, Cambridge University Press).
- CONLISK, J. 1969. «A Neoclassical Growth Model with Endogenously Positioned Technical Change Frontier», *Economic Journal*, vol. 79, no. 314, pp. 348-362.
- DAVID, P. A. 1966. «The Mechanization of Reaping in the Ante-Bellum Midwest», in H. Rosovsky, ed., *Industrialization in Two Systems* (New York, N.Y., Wiley).
- DOLL, J. P., and R. WIDDOWS. 1982. *A Comparison of Cash Rent and Land Values for Selected U.S. Farming Regions* (Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service).
- DRANDAKIS, E. M., and E. S. PHELPS. 1966. «A Model of Induced Invention, Growth and Distribution», *Economic Journal*, vol. 76, no. 304, pp. 823-840.
- FÄRE, R., and L. JANSSON. 1974. «Technological Change and Disposability of Inputs», *Zeitschrift für Nationalökonomie*, vol. 34, no. 3, pp. 283-290.
- FELLNER, W. 1961. «Two Propositions in the Theory of Induced Innovations», *Economic Journal*, vol. 71, no. 282, pp. 305-308.
- 1962. «Does the Market Direct the Relative Factor-Saving Effects of Technological Progress?» in R. R. Nelson, ed., *The Rate and Direction of Inventive Activity* (Princeton, N.J., Princeton University Press for National Bureau of Economic Research), pp. 171-193.
-

- 
- 1967. «Comment on the Induced Bias», *Economic Journal*, vol. 77, no. 307, pp. 662-664.
- GRABOWSKI, R., and D. SIVAN. 1983. «The Direction of Technological Change in Japanese Agriculture, 1874-1971», *The Developing Economies*, vol. 21, no. 3, pp. 234-243.
- GRILICHES, Z. 1957. «Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technical Change», *Econometrica*, vol. 25, no. 4, pp. 501-522.
- 1958. «The Demand for Fertilizer: An Economic Interpretation of a Technical Change», *Journal of Farm Economics*, vol. 40, no. 3, pp. 591-606.
- HAYAMI, Y., and V. W. RUTTAN. 1973. «Professor Rosenberg and the Direction of Technological Change: A Comment», *Economic Development and Cultural Change*, vol. 21, no. 2, pp. 352-355.
- and V. W. RUTTAN. 1985. *Agricultural Development: An International Perspective*, rev. ed. (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press).
- HICKS, J. R. 1932. *The Theory of Wages* (London, Macmillan).
- KAKO, T. 1978. «Decomposition Analysis of Derived Demand for Factor Inputs: The Case of Rice Production in Japan», *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 60, no. 4, pp. 628-635.
- KANEDA, H. 1982. «Specification of Production Functions for Analyzing Technical Change and Factor Inputs in Agricultural Development», *Journal of Development Economics*, vol. 11, no. 1, pp. 97-108.
- KENNEDY, C. 1964. «Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution», *Economic Journal*, vol. 74, no. 295, pp. 541-547.
- 1966. «Samuelson on Induced Innovation», *Review of Economics and Statistics*, vol. 48, no. 4, pp. 442-444.
- 1967. «On the Theory of Induced Invention—A Reply», *Economic Journal*, vol. 77, no. 308, pp. 958-960.
- KISLEV, Y., and W. PETERSON. 1981. «Induced Innovations and Farm Mechanization», *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 63, no. 3, pp. 562-565.
-

- 
- and W. PETERSON. 1982. «Prices, Technology, and Farm Size», *Journal of Political Economy*, vol. 90, no. 3, pp. 578-595.
- MOWERY, D., and N. ROSENBERG. 1979. «The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of Some Recent Empirical Studies», *Research Policy*, vol. 8, no. 2, pp. 102-153.
- NELSON, R. R. 1959. «The Economics of Invention: A Survey of the Literature», *Journal of Business*, vol. 32, no. 2, pp. 101-127.
- NGHIEP, L. T. 1979. «The Structure and Changes of Technology in Prewar Japanese Agriculture», *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 61, no. 4, pp. 687-693.
- NORDHAUS, W. D. 1973. «Some Skeptical Thoughts on the Theory of Induced Innovation», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 87, no. 2, pp. 208-219.
- ROSENBERG, N. 1969. «The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices», *Economic Development and Cultural Change*, vol. 18, no. 1, pp. 1-24.
- SALTER, W. E. G. 1960. *Productivity and Technical Change* (Cambridge, England, Cambridge University Press).
- SAMUELSON, P. A. 1965. «A Theory of Induced Innovation Along Kennedy-Weisacker Lines», *Review of Economics and Statistics*, vol. 47, no. 4, pp. 343-356.
- 1966. «Rejoinder: Agreements, Disagreements, Doubts, and the Case of Induced Harrod-Neutral Technical Change», *Review of Economics and Statistics*, vol. 48, no. 4, pp. 444-448.
- SATO, K. 1967. «A Two-Level Constant-Elasticity-of-Substitution Production Function», *Review of Economic Studies*, vol. 34 (April), pp. 201-218.
- SCHERER, F. M. 1982. «Demand Pull and Technological Invention: Schmookler Revisited», *Journal of Industrial Economics*, vol. 30, no. 3, pp. 225-238.
- SCHMOOKLER, J. 1962. «Changes in Industry and in the State of Knowledge as Determinants of Industrial Invention», in R. R. Nelson, ed., *The Rate and Direction of Inventive Activity* (Princeton, N.J., Princeton University Press for National Bureau of Economic Research), pp. 195-232.
-

- 
- 1966. *Invention and Economic Growth* (Cambridge, Mass., Harvard University Press).
- SEN, A. K. 1959. «The Choice of Agricultural Techniques in Underdeveloped Countries», *Economic Development and Cultural Change*, vol. 7, no. 3, pp. 279-285.
- SHINTINI, M., and Y. HAYAMI. 1975. «Ngoyo ni okeru Yosoketsugo to Kenkoteki Gitjutsushimpo» (Factor Combination and Biased Technical Change in Agriculture), in *Kindai Nihon no Keizai Hatten (Economic Development of Modern Japan)* (Tokyo, Toyokeizaishimposha).
- THIRTLE, C. G. 1982. «Induced Innovation in United States Agriculture» (Ph.D. dissertation, Columbia University).
- 1985. «The Microeconomic Approach to Induced Innovation: A Reformulation of the Hayami and Ruttan Model», *The Manchester School of Economic and Social Studies*, vol. 53, no. 1, pp. 263-279.
- and V. W. RUTTAN. 1987. *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change* (Chur, Switzerland, Harwell Academic Publishers).
- VAN DE KLUNDERT, T., and R. J. DE GROOF. 1977. «Economic Growth and Induced Technical Progress», *De Economist* (The Netherlands), vol. 125, pp. 505-524.
- WAN, H. Y., Jr. 1971. *Economic Growth* (New York, N.Y., Harcourt Brace Jovanovich).
- YAMADA, SABURO. 1982. «The Secular Trends in Input-Output Relations of Agricultural Production in Japan, 1878-1978», in Chi-ming Hou and Tzong-shian Yu, eds., *Agricultural Development in China, Japan and Korea* (Taipei, Academia Sinica).
- YEUNG, P., and T. ROE. 1978. «A CES Test of Induced Technical Change: Japan», in H. P. Binswanger and V. W. Ruttan, eds., *Induced Innovation: Technology, Institutions and Development* (Baltimore, Md., Johns Hopkins University Press).
-

---

---

### RESUMEN

*El cambio técnico ha sido considerado hasta épocas recientes como un fenómeno esencialmente autónomo respecto a las fuerzas sociales y económicas. La visión predominante ha estado dominada por las aportaciones de Harrod y Domar en los años cincuenta. La hipótesis de la innovación inducida fue una idea original de Hicks que ya en 1937 supuso un importante avance en relación a los intentos de explicación del cambio tecnológico como endógeno al sistema económico. En la hipótesis de la innovación inducida, la orientación óptima del cambio técnico en la agricultura es aquella que supone una respuesta dinámica a los cambios en las dotaciones relativas de recursos y a las variaciones en la composición de la demanda final. Concluyen Ruttan y Hayami que la consecución de rápidos avances en la productividad agraria depende de la capacidad de cada país para generar tecnologías agrarias ecológicamente adaptadas y económicamente viables.*

### RÉSUMÉ

*Le changement technique a été considéré, jusqu'à ces derniers temps, comme un phénomène essentiellement indépendant vis à vis des forces sociales et économiques. La vision prédominante à cet égard s'est fondée sur les apports de Harrod et Domar dans les années cinquante. L'hypothèse de l'innovation induite répond à une idée originale de Hicks, qui dès 1937 a représenté un progrès important par rapport aux essais d'explication du changement technique comme étant endogène au système économique. Selon l'hypothèse de l'innovation induite, l'orientation optimale du changement technique dans l'agriculture est celle qui implique une réponse dynamique aux changements des affectations relatives des ressources, et aux variations dans la composition de la demande finale. Ruttan et Hayami affirment en conclusion que l'obtention de progrès rapides dans la productivité agricole dépend de la capacité de chaque pays pour créer des technologies agricoles adaptées, du point de vue écologique, et viables, du point de vue économique.*

### SUMMARY

*Until recently, technical change was considered an essentially autonomous phenomenon in relation to social and economic forces. The prevailing view was governed by the contributions of Harrod and Domar in the fifties. The hypothesis of induced innovation was an original idea put forward by Hicks which, in the year 1937, was an important step forward in the attempts to explain technological change as something endogenous in the economic situation. According to the hypothesis of induced innovation, the optimum orientation of technical change in agriculture is that which involves a dynamic response to the changes in the relative allocations of resources and to the varying arrangements of the final demand. Ruttan and Hayami draw the conclusion that the achievement of rapid advances in agricultural productivity depends on the capacity of each country to generate agricultural technologies that are ecologically suitable and economically feasible.*

---